



DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS BASADOS
EN TALLOS DE BAMBÚ Y SU APLICACIÓN EN LA ARQUITECTURA
BIOCLIMÁTICA

Alumno

Guillermo Terrés Martínez

Matricula: 2123804233

Director de tesis

Mtro. José Luis García Tavera.

Sinodales

M. en C. Manuel D. Gordon Sánchez

Dr. Rubén José Dorantes Rodríguez

Mtra. Gloria Ma. Castorena Espinosa

Mtra. Verónica Huerta Velázquez

Tesis para optar por el grado de Maestro en Diseño

Línea de Investigación: Arquitectura Bioclimática

RESUMEN

El propósito de esta investigación es caracterizar térmicamente sistemas constructivos cuya base es el empleo mixto de tallos de bambú y materiales terrosos o industrializados en envolventes de edificaciones. La obtención de un coeficiente de conductancia promedio será útil para hacer simulaciones térmicas con las cuales predecir el comportamiento de edificaciones que empleen estos sistemas constructivos.

Para ello se realizaron pruebas controladas a cuatro sistemas constructivos basados en tallos bambú, tanto en el laboratorio de Arquitectura Bioclimática de CyAD como en el laboratorio de Energía Solar de CBI de la UAM-A. Dichas pruebas sirvieron para caracterizar las propiedades térmicas de cuatro módulos tipo que representaron los sistemas constructivos de la forma más certera posible a sus reales condiciones de uso. Estos sistemas se emplean en construcciones de vivienda en diferentes zonas del país como Veracruz, Tabasco, Chiapas y en el Altiplano Mexicano.

En el presente estudio se realizó una detallada revisión de la literatura disponible al tema. Así mismo, el presente documento aporta una introducción al bambú como planta (sus características taxonómicas y botánicas, distribución, silvicultura y usos importantes) y como sistema de construcción en el diseño arquitectónico (panorama actual de la arquitectura con bambú, descripción de los sistemas constructivos más utilizados).

Posteriormente se describe a detalle el proceso de experimentación, la fabricación del aparato medidor de flujo de calor para muestras de gran formato, las muestras sometidas a prueba, la metodología e instrumentos empleados así como los resultados de los experimentos. Como última parte del proceso se presenta la comparativa de simulación numérica realizada con los datos termofísicos obtenidos en las muestras de cada módulo, comparándolos con un sistema conocido. Como aporte final se presenta en los anexos un manual de uso del aparato medidor de flujo de calor, conductímetro térmico para muestras de gran formato ubicado en los laboratorios de la UAM-A. Con el fin de que sea utilizado y mejorado en posteriores investigaciones a la presentada en este trabajo. Del mismo modo en este apartado de anexos se integran todas las pruebas realizadas a las muestras espécimen resumidas, con el fin de observar la repetibilidad que puede ofrecer el aparato y que aunado a las mejoras presentadas puede alcanzar un nivel superior de precisión si se continúa su desarrollo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo y asesoramiento de muchas personas, tanto profesores, ingenieros, técnicos y ayudantes de los talleres de la UAM-A así como asesores del sector privado industrial. Agradezco a todos los profesores del área de Bioclimática de CyAD por transmitirme sus conocimientos y orientar mi tesis a mejores términos. A los ingenieros y físicos del área de Termofluidos de CBI por facilitarme sus equipos y dar su tiempo a resolver cuestiones de los experimentos realizados, siempre con la mejor disposición de ayudar.

Agradezco especialmente al despacho OJTAT por su asesoría especializada y por facilitar las muestras de sus sistemas constructivos con bambú para ser evaluadas. Al despacho KALTIA por apoyarme en la etapa final de mi trabajo y facilitarme llevar a término los experimentos aquí expuestos por medio del Programa de Estímulos a la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2014 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) que formó parte del proyecto “Desarrollo Tecnológico y validación de prototipo de sistema prefabricado para losas de entepiso y cubiertas bambú estructural etapa II – GTA Diseño y validación bioclimática del sistema compuesto Bambulosa”. A mis asesores de tesis les agradezco la paciencia, esfuerzo y horas de dedicación puestas en este trabajo y el enriquecimiento profesional que he logrado adquirir por compartir con ustedes estos años de mi vida.

Y en especial a mi familia y amigos por el apoyo constante y siempre creer en mí.

INDICE GENERAL

Pags

Resumen

Agradecimientos

Índice General

Índice Imágenes y Tablas

I.	Introducción	1
II.	Justificación	2
III.	Objetivos	3
IV.	Hipótesis	4
V.	Proceso Metodológico	4
VI.	Metas	5
1.	Caracterización de la planta de bambú	6
1.1	Generalidades del bambú	7
1.1.1	Origen del bambú	7
1.1.2	Historia de su clasificación	8
1.2	Descripción taxonómica	9
1.3	Características botánicas	12
1.3.1	Morfología del bambú	12
1.3.2	Rizoma y raíces	14
1.3.3	Culmo	15
1.3.4	Ramas y hojas	16
1.3.5	Flores y frutos	17
1.4	Distribución geográfica del bambú	18
1.4.1	Contexto mundial	18
1.4.2	Bambúes de México	22
1.5	Silvicultura	27
1.6	Cosecha y manejo posterior	28
1.7	Usos principales del bambú	31
2.	Caracterización de la Arquitectura con Bambú	39
2.1	Contexto histórico de su uso en la construcción	40
2.1.1	Sistemas Tradicionales	40
2.1.2	Sistema Bahareque	41
2.1.3	El bambú en México	42
2.2	Panorama actual de la arquitectura con bambú	44
2.2.1	Ejemplos a nivel mundial	45

2.2.2 Contexto nacional	49
2.2.2.1 Organizaciones	49
2.2.2.2 Empresas productoras	51
2.2.2.3 Arquitectura	52
2.2.2.4 Investigación	54
2.3 Descripción arquitectónica de los principales sistemas constructivos basados en bambú	57
2.3.1 Conexiones	58
2.3.2 Cimentaciones	59
2.3.3 Muros de bambú	60
2.3.3.1 Quincha (Perú)	60
2.3.3.2 Muro embutido con barro (Colombia)	61
2.3.3.3 Bahareque con doble pared (Colombia)	63
2.3.3.4 Muro tensionado (India – Colombia)	64
2.3.3.5 Muro Japonés	64
3. Caracterización Térmica	66
3.1 Situación actual del análisis térmico de estructuras realizadas con sistemas constructivos de bambú	67
3.2 Marco de referencia	68
3.2.1 Conceptos básicos de termodinámica y transferencia de calor	68
3.2.2 Coeficientes necesarios para realizar una simulación térmica	71
3.3 Metodología experimental	72
3.4 Elección de los sistemas que serán sometidos a prueba de laboratorio	73
3.4.1 Bahareque de pared única	75
3.4.2 Bahareque de doble pared	75
3.4.3 Bahareque encementado	76
3.4.4 Bahareque embutido	76
3.4.5 Masa y densidad de las muestras.	77
3.5 Conductímetro térmico para muestras de gran formato	78
3.5.1 Definición del aparato y metodología base	78
3.5.2 Diseño y construcción del aparato	79
3.5.2.1 Estructura base	79
3.5.2.2 Placa Caliente	79
3.5.2.3 Controlador de Activación	82
3.5.2.4 Aislamiento perimetral	83

3.5.2.5 Placa fría	84
3.5.2.6 Instrumentos de medición flujo de calor en muestra	86
3.5.3 Pruebas de termografía	86
3.5.3.1 Primer Prueba termográfica placa caliente	86
3.5.3.1.1 Equipo utilizado	86
3.5.3.1.2 Prueba y Resultados	87
3.5.3.2 Segunda Prueba termográfica placa caliente	88
3.5.4 Pruebas de potencia	89
3.5.4.1 Equipo utilizado.	89
3.5.4.2 Resultados de la prueba	90
3.6 Procedimiento y resultado de pruebas conductividad y conductancia térmica.	92
3.6.1 Descripción del método experimental. Preparación de una muestra y primera prueba del aparato.	92
3.6.2 Pruebas de calibración.	95
3.6.2.1 Tablaroca Núcleo Regular. Prueba completa.	96
3.6.2.2 Tablaroca Anti-moho. Prueba completa.	97
3.6.3 Pruebas realizadas a sistemas de bambú.	98
3.6.3.1 Bahareque de pared única.	99
3.6.3.1.1 Preparación de la muestra.	99
3.6.3.1.2 Prueba completa.	100
3.6.3.2 Bahareque de doble pared	101
3.6.3.2.1 Preparación de la muestra.	101
3.6.3.2.2 Prueba completa.	102
3.6.3.3 Bahareque encementado.	103
3.6.3.3.1 Preparación de la muestra.	103
3.6.3.3.2 Prueba completa	104
3.6.3.4 Bahareque embutido.	105
3.6.3.4.1 Preparación de la muestra.	105
3.6.3.4.2 Prueba completa.	106
3.7 Procedimiento y resultados de pruebas calor específico.	107
3.7.1 Descripción del método experimental.	107
3.7.2 Resultados de pruebas a muestras.	108
3.7.2.1 Prueba de calibración (Tablaroca núcleo regular)	109
3.7.2.2 Pruebas a sistemas de bambú.	110

3.7.2.2.1 Bahareque de pared única.	110
3.7.2.2.2 Bahareque de doble pared.	111
3.7.2.2.3 Bahareque encementado.	112
3.7.2.2.4 Bahareque embutido.	113
3.8 Pruebas de termografía a muestras	114
3.8.1 Bahareque de pared única	115
3.8.2 Bahareque de doble pared	116
3.8.3 Bahareque encementado	117
3.8.4 Bahareque embutido	118
3.9 Resultados obtenidos	119
4. Comparativa de sistemas con Ener-Habitat	122
4.1 Herramienta de simulación numérica Ener-Habitat	122
4.2 Parámetros de Evaluación	123
4.3 Resultados de simulaciones	126
4.3.1 Clima frío de altiplano. Ciudad de Puebla	129
4.3.1.1 Simulaciones mes más frío	129
4.3.1.2 Simulaciones mes más cálido	132
4.3.1.3 Simulaciones anuales	133
4.3.2 Clima cálido seco. Ciudad de Mexicali.	134
4.3.2.1 Simulaciones mes más frío	134
4.3.2.2 Simulaciones mes más cálido	135
4.3.2.3 Simulaciones anuales	136
5. Análisis de resultados del estudio y discusiones finales	137
6. Conclusiones	140
7. Bibliografía.	142
Anexos.	
Anexo I. Manual de operación conductímetro térmico muestras de gran formato.	147
Anexo II. Pruebas completas conductancia térmica	160
Anexo III. Glosario de términos	194
Anexo IV. Curriculum vitae	197

INDICE. Imágenes y tablas.

Figura 1.1. Ubicación de las Grandes Regiones Fitogeográficas del Mundo. Modificado de A.L. Cabrera, 1976 (Mainardi V., 2013).....	P.8
Figura 1.2. Clasificación taxonómica del bambú. (Original de Cruz 1994, Ministerio de Agricultura Perú 2011)..	P.11
Figura 1.3. Algunas especies del género <i>Phyllostachys</i> . (Yu modificado de Wetterwald 2007).....	P.12
Figura 1.4. Partes que componen un bambú. Modificado por el autor de Flores C. 2009, original O. Hidalgo....	P.13
Figura 1.5. Izq. Paquimórfico o simpodial; Der. Leptomórfico monopodial. (Traducido por el autor original de McClure 1972)	P.14
Figura 1.6. Diagrama longitudinal de un culmo de bambú joven (izq) y corte longitudinal de un culmo. Traducido por el autor (McClure 1966).....	P.15
Figura 1.7. Número de ramas por género de tres géneros de bambú. (Rodríguez 2005).....	P.17
Figura 1.8. Mapa de distribución integrando 60 géneros de Bambuseae en una sola red . (INBAR 2003).....	P.19
Figura 1.9. Mapa de la distribución de bambúes leñosos en América mezclando 341 especies nativas. (INBAR 2003).	P.21
Figura 1.10. Mapas de distribución de <i>Guadua amplexifolia</i> y <i>Guadua angustifolia</i> en América. (INBAR 2003).	P.21
Figura 1.11. Modelos de distribución potencial de especies de bambú en México. (Rodríguez M. 2005).....	P.26
Figura 1.12. Método Boucherie por gravedad. (Hidalgo 1982).....	P.29
Figura 1.13. Método Boucherie modificado. (Hidalgo 1982).....	P.30
Figura 1.14 Usos del bambú en China por Zhu (Leyva & Romero 2013).....	P.32
Figura 1.15 Bambú aplicado a enseres. (Leyva & Romero 2013).....	P.33
Figura 1.16 Muebles de bambú grupo Ojtat, Puebla (ojtat.org 2013).....	P.33
Figura 1.17 Muebles de bambú TIBA Brasil (Leyva & Romero 2013).....	P.34
Figura 1.18 Bambú en mamparas y andamios en China (Leyva y dwan.com 2013).....	P.34
Figura 1.19 Usos en arquitectura: a. Escuela Ecológica en Bali, b. Housing for Haiti (evolo.us y greenschool.org 2013).....	P.35
Figura 1.20 Usos en ingeniería: puentes en Colombia a. Jorg Stamm, b. Simon Vélez. (bambooro.net 2013)....	P.35
Figura 1.21 Usos en transporte: a. vehículo japonés y b. bicicleta mexicana (Leyva y bamboocycles.com 2013)	P.36
Figura 1.22 Usos en las artes: a. instrumentos musicales (flautas, tambores, ocarina, xilófono); b. artesanías (vasos, lámparas, floreros).....	P.36
Figura 1.23 Usos en industria: a. textiles; b. laminados; c. electrónica (Leyva, bambumex.org 2013).....	P.37
Figura 1.24 Usos en cultura: a. simbolismo y escritura de caracteres chinos (kanjis) relacionados con el bambú y sus usos; b. armas hechas con bambú; c. rituales y tradiciones (Leyva 2013, Yu 2007).....	P.37
Figura 1.25 Usos en tecnología: a. medicina alternativa; b. ortopedia; c. alimentos y bebidas (Leyva & Romero 2013).....	P.38
Figura 2.1 Estructuras antiguas: a. Colmena de bambú tejida en Etiopía; b. Casa tribal en Ecuador, Arq J Ladisich (Stamm, 2008).....	P.40
Figura 2.2 Vivienda tradicional con bambú en México; 1. Vivienda tzeltal, Tenejapa, Chiapas; 2. Vivienda tzoltzil, Chamula Chiapas; 3. Viviendas jacaltecas, Chiapas. (Flores C., 2009).....	P.43

Figura 2.3 Ejemplos nivel mundial. 1. Vélez – Museo Nómada, Cd de México (Cortés, 2009); 2. Nghia – Wind and Water Café, Vietnam (Paudel 2007); 3. Sands – Bamboo living, Hawaii (Paudel 2007); 4. Sttam – Puente Cúcuta, Colombia (Umaña 2010); 5. IBUKU – Green School, Bali (greenschool.org/ agosto 2014).....	P.48
Figura 2.4. Contexto Nacional. 1. OJTAT – Auditorio Flor del Bosque y Sendero del Bambú, Cd. de Puebla (ojtat.org agosto 2014); 2. Cooperativa Tosepan – Tosepankali, Cuetzalan (ojtat.org agosto 2014); 3. Bambupue – Vivienda Popular Rural, Amozoc (bambumex.org agosto 2014); 4. Bambuterra – Palapa Miravalle Iztapalapa y Casa Quechultenango, Guerrero (bambuterra.com.mx agosto 2014).....	P.54
Figura 2.5. Cortes más utilizados: A. con dos orejas; B. con una oreja; C. biselado; D. pico de flauta; E. boca de pescado. (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003).....	P.58
Figura 2.6. Conexión boca de pescado: A. perspectiva; B. frente; C. corte transversal con detalle de unión. (Elaborado por el autor basado en Leyva 2014).....	P.59
Figura 2.7. Conexión pico de flauta: A. perspectiva; B. frente; C. corte transversal con detalle de unión. (Elaborado por el autor basado en Leyva 2014).....	P.59
Figura 2.8. Tipos de cimentaciones: A. sobre piedra; B. base colada in situ; C. extensión colada tubular en bambú; D. extensión colada con botella en bambú. (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003).....	P.60
Figura 2.9. Sistema Quincha con tiras verticales. (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003).....	P.61
Figura 2.10. Sistema Quincha con tiras horizontales. (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003).....	P.61
Figura 2.11. Sistema embutido: A. y B. perspectiva; C. planta (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003). P.62	
Figura 2.12. Sistema bahareque doble panel perspectiva (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003).....	P.63
Figura 2.13. Sistema bahareque doble panel en planta (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003).....	P.63
Figura 2.14. Sistema muro tensionado perspectiva (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003).....	P.64
Figura 2.15. Muro japonés primer etapa (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003).....	P.65
Figura 2.16. Muro japonés segunda etapa (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003).....	P.65
Figura 2.17. Muro japonés etapa final (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003).....	P.65
Figura 3.1. Estructuras portantes de muestras; a. marco entero de bambú con conexiones talladas, b. marco con tablas de madera en base y corona. (Elaboración propia).....	P.74
Figura 3.2. Muestra a medir sistema constructivo bahareque pared única; frente, revés y detalles. (Elaboración propia).....	P.75
Figura 3.3. Muestra a medir sistema constructivo bahareque pared doble; frente, costado y detalles. (Elaboración propia).....	P.75
Figura 3.4. Muestra a medir sistema constructivo bahareque encementado; frente, costado y detalles. (Elaboración propia).....	P.76
Figura 3.5. Muestra a medir sistema constructivo bahareque embutido; estructura, construcción, frente y costado. (Elaboración propia).....	P.76
Figura 3.6. Pesado de las muestras en el Laboratorio de Construcción. (Elaboración propia).....	P.78
Figura 3.7. Principales acomodos del aparato medidor de flujo de calor bajo el sistema de placa caliente guardada. (ASTM C518, 2004 traducido por el autor).....	P.78
Figura 3.8. Construcción de placa caliente: a. base de soporte; b. aislante térmico; c. lamina de aluminio; d. resistencia eléctrica; e. aislante muscovita; f. placa de acero; g. montaje completo. (Elaboración propia).....	P.81

Figura 3.9. Controlador de activación: a. vista exterior caja; b. vista interior caja; c. prueba funcionamiento; d. ubicación en el aparato; e. conexión a resistencia; f. conexiones tipo arillo. (Elaboración propia).....	P.83
Figura 3.10. Paredes aislantes: a. estructura; b. pared interior; c. aislante manta cerámica; d. aislante poliestireno; e. placa frontal móvil. (Elaboración propia).....	P.84
Figura 3.11. Placa fría: a. bandeja aluminio; b. remaches en vértices; gel refrigerante c. temperatura ambiente y d. congelado; e. acomodo final para prueba. (Elaboración propia).....	P.85
Figura 3.12. Primer prueba termográfica: a. Inicio de prueba; b. 10 min; c. 20 min; d. 30 min; e. 40 min; f. 50 min; g. fin de la prueba 60 min. (Elaboración propia).....	P.87
Figura 3.13. Segunda prueba termográfica: a. 20 min; b. 30 min; c. fin de la prueba 60 min.(Elaboración propia) P.88	
Figura 3.14. Analizador de redes eléctricas durante la prueba en el laboratorio de energía solar. (Elaboración propia).....	P.89
Figura 3.15. Datos graficados obtenidos durante la primer prueba potencia. (Elaboración propia).....	P.90
Figura 3.16. Preparación de muestra; a. ranuras en cara hacia placa caliente y b. placa fría; c. y d. colocación de termopares en ambas caras (Elaboración propia).....	P.92
Figura 3.17. Preparación de muestra, plano de ubicación de termopares en a. placa caliente y b. placa fría. (Elaboración propia).....	P.93
Figura 3.18. Lecturas de termopares en cara caliente de la muestra. Duración de la prueba 23 horas. (Elaboración propia).....	P.93
Figura 3.19. Lecturas de termopares en cara fría de la muestra. Duración de la prueba 23 horas. (Elaboración propia)	P.94
Figura 3.20. Lecturas de termopares promediadas en ambas caras de la muestra. Duración de la prueba 23 horas. (Elaboración propia).	P.94
Figura 3.21. Preparación de la muestra para mediciones: a. rebaje, perfilado de bambú y colocación de termopares; b. montado en el equipo (Elaboración propia).....	P.99
Figura 3.22. Preparación de la muestra para mediciones: a. rebaje y perfilado de bambú; b. colocación de termopares; c. montado en el equipo (Elaboración propia).....	P.101
Figura 3.23. Preparación de la muestra para mediciones: a. frente y detalle; b. colocación de termopares y detalles; c. montado en el equipo (Elaboración propia).....	P.103
Figura 3.24. Preparación de la muestra para mediciones: a. rebaje y perfilado de bambú; b. colocación de termopares; c. montado en el equipo (Elaboración propia).....	P.105
Figura 3.25 Secuencia de termografías panel bambú bahareque pared única; a. 10:30am, b. 11:00am, c. 11:30am, d. 12:00pm, e. 12:30pm, f. 1:00pm, g. 1:30pm, h. 2:00pm, i. 2:30pm (Elaboración propia).....	P.115
Figura 3.26 Detalles de bambú centra panel bambú bahareque pared única; a. 11:30am, b. 12:30pm, c. 2:30pm (Elaboración propia).....	P.115
Figura 3.27 Secuencia de termografías panel bambú bahareque doble pared; a. 6:30pm, b. 7:00pm, c. 7:30pm, d. 8:00pm, e. 8:30pm, f. 9:00pm, g. 9:30pm (Elaboración propia).....	P.116
Figura 3.28 Secuencia de termografías panel bambú bahareque encementado; a. 6:30pm, b. 7:00pm, c. 7:30pm, d. 8:00pm, e. 8:30pm, f. 9:00pm, g. 9:30pm, h. 10:00pm, i. 10:30pm (Elaboración propia).....	P.117
Figura 3.29 Secuencia de termografías panel bambú bahareque embutido; a. 9:30am, b. 10:00am, c. 10:30am, d.11:00am, e.11:30am, f.12:00pm, g. 12:30pm, h. 1:00pm, i. 1:30pm (Elaboración propia).....	P.118

Figura 4.1 Pantalla inicial de simulación Ener-Habitat v2.2.0 2014 (http://www.enerhabitat.unam.mx Marzo 2015)	P.123
Figura 4.2 Selección de parámetros de simulación (http://www.enerhabitat.unam.mx Marzo 2015).....	P.123
Figura 4.3 Definición de la inclinación y la orientación de muro (http://www.enerhabitat.unam.mx Marzo 2015)	P.124
Figura 4.4 Definición de número de capas del sistema constructivo a evaluar (http://www.enerhabitat.unam.mx Marzo 2015)	P.124
Figura 4.5 Definición de materiales del sistema constructivo a evaluar (http://www.enerhabitat.unam.mx Marzo 2015)	P.125
Figura 4.6 Grafica de temperaturas comparativa 1 (http://www.enerhabitat.unam.mx Marzo 2015).....	P.127
Figura 4.7 Grafica Factor de Decremento comparativa 1 (http://www.enerhabitat.unam.mx Marzo 2015).....	P.128
Figura 4.8 Simulación Puebla. Grafica Factor de Decremento Enero comparativa final (http://www.enerhabitat.unam.mx Marzo 2015).....	P.129
Figura 4.9 Simulación Puebla. Grafica de temperaturas Enero comparativa final (http://www.enerhabitat.unam.mx Marzo 2015)	P.130
Figura 4.10 Simulación Puebla. Graficas carga de calentamiento y enfriamiento Enero comparativa final (http://www.enerhabitat.unam.mx Marzo 2015).....	P.130
Figura 4.11 Simulación Puebla. Grafica carga energética total Enero comparativa final (http://www.enerhabitat.unam.mx Marzo 2015).....	P.131
Figura 4.12 Simulación Puebla. Condición: sin aire acondicionado, mes Mayo comparativa final (http://www.enerhabitat.unam.mx Marzo 2015).....	P.132
Figura 4.13 Simulación Puebla. Condición: con aire acondicionado, mes Mayo comparativa final (http://www.enerhabitat.unam.mx Marzo 2015).....	P.132
Figura 4.14 Simulación Puebla. Condición: sin aire acondicionado, Anual comparativa final (http://www.enerhabitat.unam.mx Marzo 2015).....	P.133
Figura 4.15 Simulación Puebla. Condición: con aire acondicionado, Anual comparativa final (http://www.enerhabitat.unam.mx Marzo 2015).....	P.133
Figura 4.16 Simulación Mexicali. Condición: sin aire acondicionado, mes Enero, comparativa final (http://www.enerhabitat.unam.mx Marzo 2015).....	P.134
Figura 4.17 Simulación Mexicali. Condición: con aire acondicionado, mes Enero comparativa final (http://www.enerhabitat.unam.mx Marzo 2015).....	P.134
Figura 4.18 Simulación Mexicali. Condición: sin aire acondicionado, mes Mayo, comparativa final (http://www.enerhabitat.unam.mx Marzo 2015).....	P.135
Figura 4.19 Simulación Mexicali. Condición: con aire acondicionado, mes Mayo comparativa final (http://www.enerhabitat.unam.mx Marzo 2015).....	P.135
Figura 4.20 Simulación Mexicali. Condición: sin aire acondicionado, Anual comparativa final (http://www.enerhabitat.unam.mx Marzo 2015).....	P.136
Figura 4.21 Simulación Mexicali. Condición: con aire acondicionado, Anual comparativa final (http://www.enerhabitat.unam.mx Marzo 2015).....	P.136

Tabla 1.1. Número de especies de Bambuseae en Norte, Centro y Sudamérica.....	P.20
Tabla 1.2. Bambúes de México. (Rodríguez M. 2005).....	P.25
Tabla 3.1. Datos promedio por hora prueba de potencia. (Elaboración propia).....	P.91
Tabla 3.2. Certificado Onncce Tablaroca núcleo regular. (ONNCCE (2012)).....	P.95
Tabla 3.3 Diferenciales de temperatura observados en todas las pruebas de calor específico.....	P.108
Tabla 3.4 Resultados coeficientes medidos. (Elaboración propia).....	P.121
Tabla 3.5 Resultados coeficientes calculados. (Elaboración propia).....	P.121

I. Introducción

La construcción sustentable está relacionada con la racionalidad en el uso de los recursos disponibles. Para el constructor y arquitecto el reto entre otros, consiste en que los beneficios de los proyectos impliquen el mínimo de costo ambiental. Para ello, son determinantes las acciones en cuanto a reducir, reutilizar y reciclar los materiales involucrados en los diferentes procesos, así como la adecuada disposición de lo no aprovechable (CMIC 2014).

La industria de la construcción consume recursos no renovables y genera enormes cantidades de residuos y emisiones de CO₂. El empleo de sistemas constructivos basados en materiales renovables y de rápida recuperación es una opción para resarcir estos efectos negativos al medio ambiente. La madera es un producto sostenible y renovable, siempre y cuando su procedencia sea regulada para impedir la destrucción de hábitats naturales sobre todo en el caso de los bosques tropicales. Sin embargo, ésta tarda un tiempo considerable en adquirir la necesaria resistencia que los usos constructivos demandan, por lo cual el ciclo de reaprovechamiento es largo.

El bambú es un material con alta tasa de recuperación, su crecimiento y maduración ocurre en corto tiempo bajo condiciones específicas y debido a sus propiedades podría sustituir en ciertas áreas de la construcción a la madera. Posee características en sus tallos que se asemejan al comportamiento de la madera. Es una planta extremadamente diversa de los climas tropicales y templados del planeta; existen 89 géneros y 1035 especies. Crece en Asia, África y América, entre los 46° de latitud norte hasta los 46° de latitud sur y desde el nivel del mar hasta los 4000 metros de altura en los Andes Ecuatoriales (Botero, 2004).

La construcción con sistemas estructurales basados en bambú está escasamente estudiada y difundida en nuestro país. Esto podría obedecer a varias razones; la falta de obra de mano especializada para dichas construcciones; las escasas plantaciones dedicadas a cultivar el bambú con fines de aplicación constructiva; el mal manejo del material después de su cosecha (lo que evita que su durabilidad sea aceptable en la construcción) y; la escasa difusión que dicha planta tiene para su aplicación en la arquitectura actual.

No obstante que las investigaciones científicas sobre el uso del bambú en sistemas constructivos aún son escasas, en la actualidad se emplea en forma de prototipos por ciertas industrias europeas. Y en los lugares donde el bambú es nativo, se ha adoptado ampliamente

en la cultura y en la arquitectura. Los arquitectos de estas zonas geográficas son capaces de mostrar las capacidades de este material. Burri (2002) nos adentra un poco en las obras de arquitectos como Simón Vélez, Shoei Yoh, Rocco Yim, Jörg Stamm, entre muchos otros que han apostado por el uso de esta planta en espera de resultados favorables en sus trabajos.

Las investigaciones realizadas en relación al bambú y su empleo en la construcción se han desarrollado sobre el uso de varias especies como material estructural en las edificaciones y sus posibilidades para emplearse como único soporte estructural en ellas. Actualmente existen manuales para autoconstrucción que describen las técnicas de empleo del bambú como material estructural o parte de los sistemas constructivos de muros y losas para edificaciones.

Como referencia, de los estudios sobre resistencia mecánica de varias especies de bambú sobresale la especie *Guadua angustifolia* que excede por mucho a la resistencia de varias maderas pudiéndose incluso comparar (bajo ciertas circunstancias) con el acero y algunas fibras de alta tecnología. La especie arriba mencionada es una de las más estudiadas por los investigadores en países como Colombia (de donde es nativa).

Pero existe una clara ausencia de información sobre las características termofísicas de los sistemas constructivos basados en este material vegetal, por lo que este trabajo se enfocará en ellas.

II. Justificación

Actualmente el discurso oficial en México permite conocer que hay un déficit de nueve millones de viviendas en el país; unos 36 millones de mexicanos no tienen acceso a una vivienda digna y decorosa. Así mismo, se estima que la construcción de vivienda tipo no responde a las necesidades de confort ambiental que los usuarios requieren, al no considerar características ambientales de su lugar de emplazamiento.

Además es necesario -en mi opinión- optar por sistemas de construcción sustentables que privilegien el uso de materiales que no repercutan negativamente sobre el medio ambiente y que su tasa de recuperación sea alta para realmente considerarlos como alternativas a la construcción tradicional actual. Por lo que ésta investigación se enfocará las características

térmicas de un sistema constructivo que, siendo económico, podría satisfacer ambas premisas, dotar de confort a los usuarios de las edificaciones y ser respetuoso con el medio ambiente.

Enfocándose al comportamiento energético de dichos sistemas aplicados a la vivienda este estudio caracteriza cuatro sistemas constructivos distintos aportando sus datos termofísicos. La razón de esta investigación surge de proveer datos técnicos a los investigadores, arquitectos, ingenieros, constructores o a cualquier persona interesada en implementar los sistemas constructivos basados en bambú para enriquecer el conocimiento de sus propiedades térmicas.

Para su evaluación, se determinaron los coeficientes de conductancia térmica promedio, a partir de un prototipo elaborado para tal fin. Estos fueron determinados bajo condiciones controladas de laboratorio en apego a la metodología experimental. Como validación de los datos obtenidos en el laboratorio a partir de las muestras espécimen se realizaron simulaciones asistidas por computadora de los sistemas en dos climas distintos y comparándolo con un sistema constructivo tradicional. La simulación de edificaciones reales requiere más datos que los proporcionados en esta etapa de la investigación, pero se espera que sirvan como base para otro trabajo de caracterización de los sistemas aquí presentados.

III. Objetivos

Objetivo General. Realizar la caracterización térmica de cuatro sistemas constructivos empleados en envolventes arquitectónicas, elaborados a partir de tallos de *Bambusa oldhamii* y *Guadua aculeata* con la integración de materiales arcillosos y agregados de paja, así como materiales industrializados.

Objetivos específicos.

- Desarrollar una metodología para la caracterización térmica de los cuatro sistemas constructivos.
- Proponer la generación de modelos físicos para la caracterización de los sistemas constructivos basados en tallos de bambú.
- Generar un equipo para someter a pruebas de flujo de calor los modelos físicos de los cuatro sistemas constructivos de bambú en ejemplares de gran formato.

- Determinar un modelo que resulte más apropiado para comparar la información obtenida del proceso experimental.
- Generar modelos útiles para la evaluación térmica de un material constructivo mixto vegetal e industrializado.
- Presentar los valores termofísicos de los sistemas evaluados y su comparativa.

IV. Hipótesis

La caracterización térmica de un sistema constructivo desarrollado con tallos de bambú (*Bambusa oldhamii* y *Guadua aculeata*) bajo la metodología diseñada, permite realizar simulaciones numéricas con modelos predictivos en la etapa de diseño.

El comportamiento térmico de los sistemas constructivos basados en tallos de bambú y materiales arcillosos permite su correcto uso en los climas de la república Mexicana, obteniendo condiciones a la par o mejores que las presentadas por sistemas tradicionales de construcción.

V. Procedimiento Metodológico

El proceso metodológico se determinó a partir de la revisión de metodologías de investigación previas en casos análogos. El método de medición para la caracterización térmica de los sistemas constructivos conformados por tallos de bambú y materiales arcillosos, se sujetó a los recursos disponibles en el laboratorio de Energía Solar de la división de CBI de la UAM-A y aquellos disponibles por el autor. Para esto se revisaron trabajos de investigación donde se pusieron a prueba materiales y sistemas constructivos con el fin de obtener su caracterización térmica. De igual manera, el diseño de los experimentos contó con la revisión bibliográfica de normas internacionales de metrología aplicables a este caso.

Una vez realizada esta revisión bibliográfica se procedió al diseño de la parte experimental que contempló la investigación. Las características de los prototipos sujetos a evaluación, su construcción y herramientas de medición necesarias fueron determinadas y puestas a prueba en esta etapa del trabajo.

Definiendo y obteniendo las características térmicas por medio de la etapa de experimentación se hicieron correspondencias en ejemplos por métodos indirectos. Las posibilidades y alcances con los que esta investigación contó permitieron llegar a una etapa de comprobación de datos por medio de simulaciones numéricas comparativas de los sistemas enfocados solo a la transmisión energética por unidad de área de los propios sistemas. Se recomienda una continuación del trabajo ampliando esta etapa a simulaciones de edificios reales, tomando en cuenta todos los factores que afectan al confort de una edificación y comparando dichas simulaciones con una medición de un edificio real construido con estos sistemas.

VI. Metas

- Desarrollar la metodología que permita la caracterización del material vegetal como sistema constructivo.
- Desarrollar prototipos de los sistemas constructivos basados en bambú, para su evaluación bajo condiciones controladas de laboratorio.
- Desarrollo y comprobación de un aparato capaz de medir muestras de gran formato y masa de sistemas constructivos.
- Comprobación por medios numéricos de los resultados obtenidos en la medición experimental.

CAPITULO 1

CARACTERIZACIÓN DE LA PLANTA DE BAMBÚ

- 1.1 Generalidades del bambú
 - 1.1.1 Origen del bambú
 - 1.1.2 Historia de su clasificación
- 1.2 Descripción taxonómica
- 1.3 Características botánicas
 - 1.3.1 Morfología del bambú
 - 1.3.2 Rizoma y raíces
 - 1.3.3 Culmo
 - 1.3.4 Ramas y hojas
 - 1.3.5 Flores y frutos
- 1.4 Distribución geográfica del bambú
 - 1.4.1 Contexto mundial
 - 1.4.2 Bambúes de México
- 1.5 Silvicultura
- 1.6 Cosecha y manejo posterior
- 1.7 Usos principales del bambú

1. Caracterización de la planta de bambú

1.1. Generalidades del bambú

Pertenecientes a la familia de las poáceas (Poaceae) o gramíneas, los bambúes forman parte de la subfamilia Bambusoideae que comprende tanto plantas herbáceas como leñosas. Son un grupo de plantas que juegan un papel distintivo en los ecosistemas de los bosques donde crecen. Han tenido un gran valor práctico para las poblaciones humanas que habitan dichos lugares por ser empleadas como elementos de la construcción de viviendas, en sistemas de distribución de agua, como instrumentos musicales, combustible e incluso como alimento. Actualmente son un recurso cuyo mayor impacto económico se da en Asia en la región del Océano Pacífico, pero también son fundamentales para las economías locales en otras regiones del mundo, como Sudamérica y África. (Collins 2004).

Algunas especies de estos géneros son conocidas como las gramíneas más grandes del mundo. A pesar de que el bambú posee una increíble capacidad de adaptarse a una gran variedad de climas y suelos, su crecimiento y desarrollo no siempre es equiparable en todos los sitios. Ciertas características ambientales determinan el crecimiento y desarrollo de los bambusales (fertilidad y textura del suelo, precipitación pluvial, humedad ambiental, altura sobre el nivel del mar, temperatura y radiación solar, entre otros). Los factores bióticos que determinan el destino de la producción de los bambusales son: la densidad de población (cantidad de tallos por hectárea); estado de madurez, altura, diámetro, sanidad y calidad de las maderas (Botero, 2004).

1.1.1. Origen del bambú

Rodríguez R. (2005) menciona los estudios de botánica y zootecnia de Cruz (1994) y Montiel (1998) respecto a la subfamilia *Bambusoideae*. De acuerdo a estos autores, esta subfamilia es la más primitiva dentro de la familia *Graminae* desde el punto de vista evolutivo, pues se data su aparición a principios del Periodo Terciario, en la época del Paleoceno hace aproximadamente 65 millones de años.

El centro del origen del bambú se localiza dentro de la Región Paleotropical que ocupa las regiones intertropicales de África, Asia, Indonesia y Polinesia como se muestra en la Figura 1.1. Se caracteriza por las selvas tropicales, los bosques xerófilos de *Mimosoideas* y las sabanas de gramíneas (Mainardi, V. 2013). En estas últimas se encuentra la mayor diversidad de géneros y especies de bambú a nivel mundial. Ejemplo de esto es la provincia china de Yunnan, localizada entre el sureste de China y el oriente del Himalaya que alberga 250 especies de 29 géneros, lo que representa la mitad de las especies de bambú que hay en este país. (Rodríguez M. 2005).

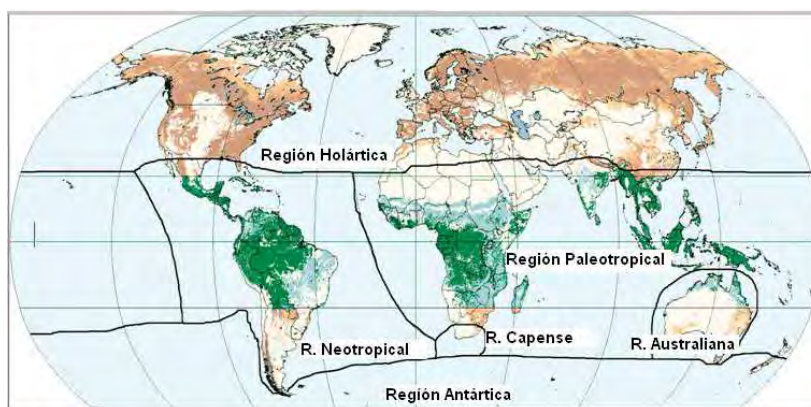


Figura 1.1. Ubicación de las Grandes Regiones Fitogeográficas del Mundo. Modificado de A.L. Cabrera, 1976 (Mainardi V., 2013)

1.1.2. Historia de su clasificación

Thomas R. Soderstrom en su artículo „*Bamboo Systematics*“ (1985), hace una reseña de los orígenes de esta planta y de los científicos que le dieron su clasificación botánica y registraron sus usos. Los pueblos de China realizaron los primeros usos del bambú en la ciencia y las artes, sin embargo los estudios iniciales de su sistemática y su clasificación científica estuvieron dominados por el conocimiento europeo.

La primera mención del bambú referente a su clasificación taxonómica en la literatura occidental provino de una carta enviada por Alejandro Magno a Aristóteles. Esto lo registro Ruprecht en 1839 recopilando la enciclopedia „*Historia Natural*“ de Plinio del año 79 a.C. Una de las primeras referencias que citan al bambú en la literatura científica proviene de los estudios de Avicena o

Ibd Siná¹. A través de su amplia educación pudo incursionar en muchos campos científicos con su texto Canon (principalmente enfocado a la medicina), en el cual hace referencia a la palabra “Mambu”, la que muchos autores interpretan como bambú.

Los principales hechos en la historia de la clasificación de los bambúes hecha por Soderstrom son los siguientes: En 1623 Caspar Bauhin en su *Pinax* se refiere a los bambúes como “*Arundo Arbor*”. Carl Linnaeus en 1753, en *Species Plantarum* les da su primera nomenclatura botánica formal, *Arundo bamboos*. Retzius en Suecia y Schereber en Alemania en 1789, reconocen a bambú como un género distinto y lo formalizan llamándolo *Bambos* y después *Bambusa*. En 1815, Karl S. Kunt reconoce bambúes como uno de los diez grupos naturales de pastos bajo el concepto que hoy tenemos como la familia *Bambusoideae*. Los *Bambúes de Brasil*, tratado hecho por Nees Von Esenbeck establece el primer sistema de clasificación en 1835, reconociendo tres grupos dos de los cuales fueron leñosos, *Bambuseae* (con *Bambusa*) y *Arundinariae* (con *Arundinaria*) y uno de los cuales es herbáceo *Streptochaetea* (con *Streptochaeta*). En 1961 el profesor Lorenzo R. Parodi, un eminente agrostólogo de Argentina formaliza la subfamilia *Bambusoideae* y establece un sistema de clasificación de las gramíneas de este país.

Actualmente se continúa ampliando la sistemática del bambú y nuevos taxones en las zonas tropicales de América, la República Popular de China y otras zonas de Asia están siendo descritos, a partir de investigaciones desarrolladas por instituciones como: Bamboo Research in Asia; American Bamboo Society; International Network for Bambú and Ratán (INBAR), entre otras.

1.2. Descripción taxonómica del bambú

Rodríguez M. (2005) refiere a las clasificaciones hechas por Cruz en 1994, y por Chapmon y Peat en 1995, de la siguiente manera:

Reino: Vegetal

¹ Avicena es considerado el intelectual más importante del mundo árabe antiguo. Nacido cerca de Brujará, Persia (hoy Irán) en 980 a.C.

División: Spermatofita. Plantas con flores, frutos y semillas con un alto grado de especialización.

Subdivisión: Angiospermae. Las plantas tienen estilo, estigma y los óvulos están protegidos.

Clase: Monocotiledónea. La semilla tiene un cotiledón, las hojas de margen liso y con nervación paralela. Las flores tienen verticilos en múltiplos de 3 y el tallo presenta haces fibro-vasculares esparcidos.

Orden: Glumiflorales. Hay presencia de brácteas más exteriores en las espiguillas.

Familia: **Graminae** o **Poaceae**. Plantas anuales o perennes, herbáceas o leñosas, las raíces adventicias, las cañas aéreas generalmente están huecas y formadas por nudos y entrenudos. Las hojas son dísticas y presentan vaina que rodea la caña, la lámina lanceada es lineal o plana. La inflorescencia puede ser en panoja, espiga o racimo compuesto, el fruto es cariósido.

Subfamilia: **Bambusoideae**. Aquí se genera el término vulgar bambú.

Supertribus: Olyrodae y **Bambusodae**. La primera comprende bambúes herbáceos en cuatro tribus. La segunda comprende miembros leñosos en la única tribu **Bambuseae** la más grande y de mayor dispersión dentro de la subfamilia. Las características que los distinguen son los culmos o tallos lignificados, un sistema complejo de ramificación y un sistema radical fuerte. La floración se presenta en intervalos prolongados y crece en hábitats abiertos donde generalmente son polinizados por la acción del viento.

De la tribu Bambuseae nueve subtribus están distribuidas en el globo. En el hemisferio oriental se encuentran la **Bambusinae**, **Nestinae**, **Schizastachydinae** y **Shibataeinae**; del hemisferio occidental son: **Arthrostylidiinae**, **Chusqueinae** y **Guadinae**. En ambos hemisferios está presente la **Arundinariinae** (Rodríguez M. 2005).

La Figura 1.2 muestra un diagrama de la clasificación taxonómica del bambú y ubica en particular al género *Guadua* que es de gran importancia por su empleo en la arquitectura e ingeniería por sus características estructurales.

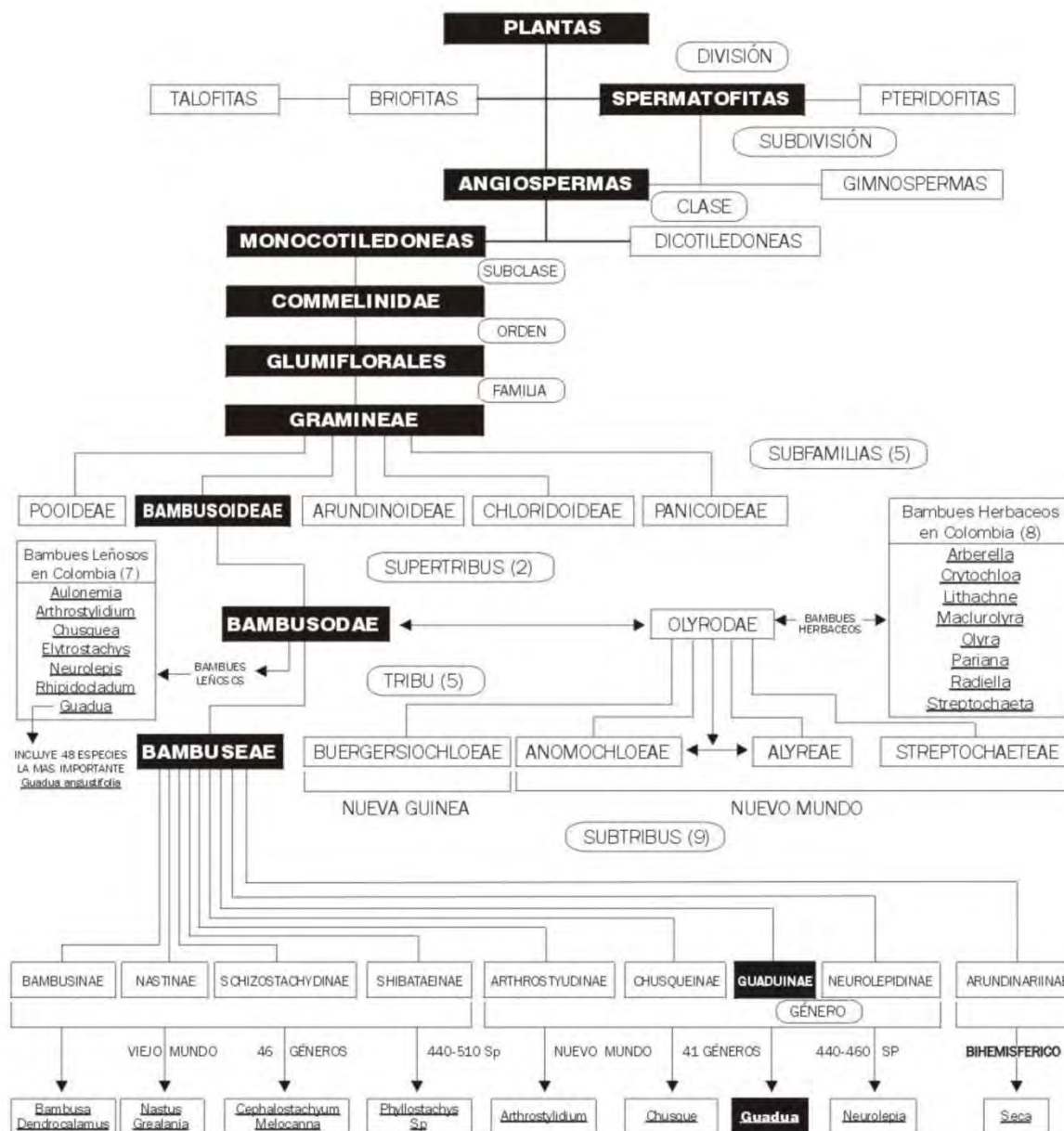


Figura 1.2. Clasificación taxonómica del bambú. (Original de Cruz 1994, Ministerio de Agricultura Perú 2011)

Xiaobing Yu (2007), hace referencia a la dificultad que presenta el bambú para su clasificación taxonómica, debido a que su floración se presenta en intervalos de 25 a 35 años y posterior a ella la planta muere. Yu presenta diferentes opiniones sobre la identificación del bambú, de las que destacan las siguientes: Udea (1960) clasifica a los bambúes en 47 géneros con 1250 especies; McClure (1972) propone 63 géneros y cerca de 700 especies en todo el mundo. Estas

diferencias en la clasificación responden a los criterios utilizados por los autores, que además de las características de flora (principal clave para identificar plantas), hay otros criterios a considerar, por ejemplo estructuras vegetales, caracteres anatómicos como rasgos de epidermis, acomodo de los vasos vasculares, estructuras de capullos, vainas y hojas así como la morfología de los culmos (Yu 2007). En la Figura 1.3 se presenta un ejemplo de tales clasificaciones.

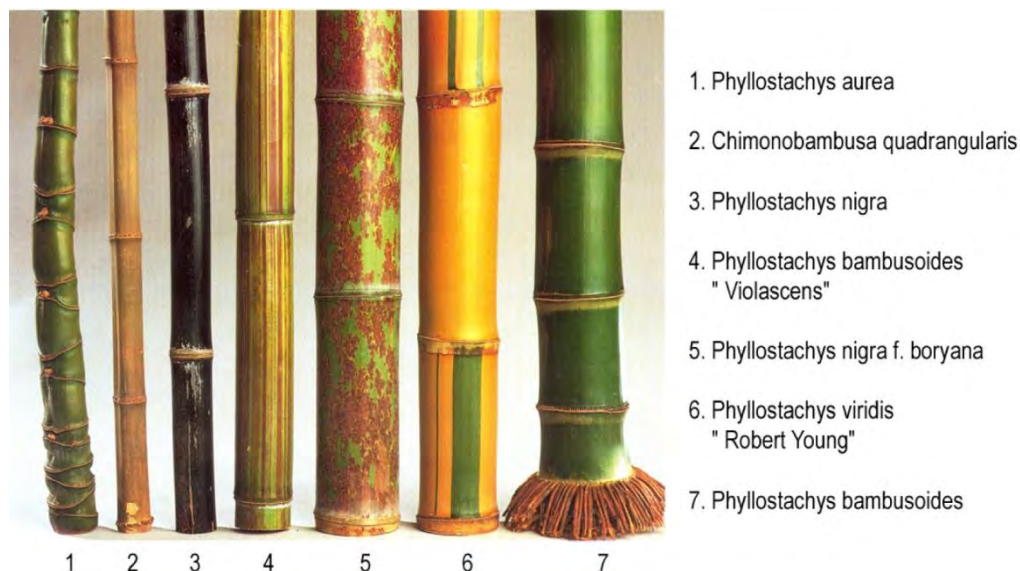


Figura 1.3. Algunas especies del género *Phyllostachys*. (Yu modificado de Wetterwald 2007)

1.3. Características botánicas

1.3.1. Morfología del bambú

La Figura 1.4 expone las partes principales que componen a los bambúes leñosos, pertenecientes a la supertribu *Bambuseae* valiosos por sus aplicaciones en la edificación. La imagen divide en seis secciones al bambú: rizoma, cepa, basal, sobreabasa, varillon y copa. En cada sección se da una descripción anatómica (columna izquierda) y se presentan algunos de los usos que se le dan a esa parte de la planta (columna derecha). Rodríguez Marin (2005) hace un compendio de la morfología de la tribu *Bambuseae* Nees, según las investigaciones de Cruz (1994), Crouzet (1998), Montiel (1998) y Judziewicz *et al* (1999) y es presentada a continuación.

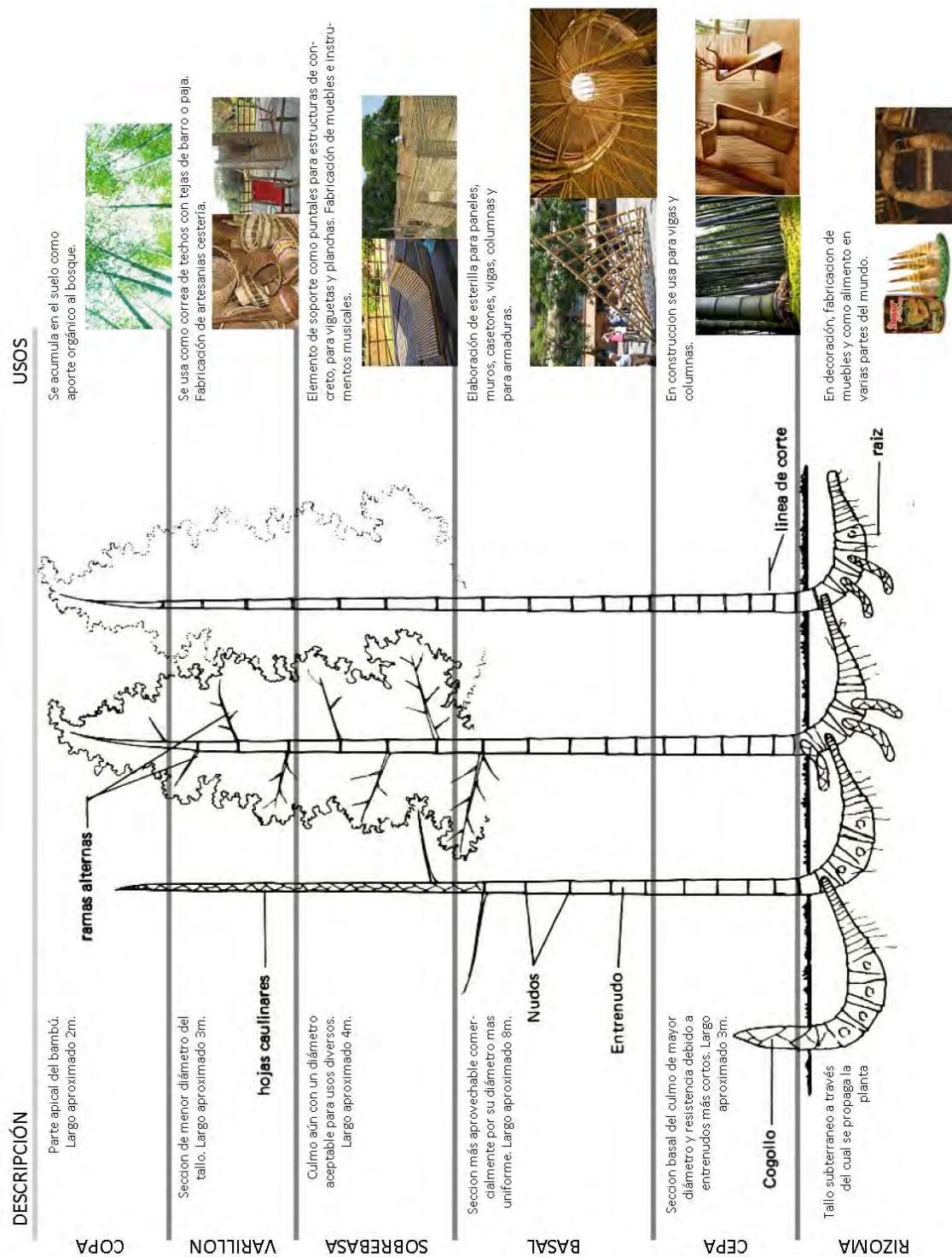


Figura 1.4. Partes que componen un bambú. Modificado por el autor de Flores C. 2009, original O. Hidalgo.

1.3.2. Raíces y Rizoma

Son la parte subterránea de la planta que le permite absorber agua, almacenar nutrientes y constituye su anclaje y fundamento estructural. Los rizomas son compuestos a base de unidades o segmentos, cada unidad consiste en un nudo, un entrenudo y yemas de las cuales se originan los culmos y raíces. La conexión entre estas estructuras se llama cuellos y presenta diferentes patrones según su tipo de ramificación.

Según su ramificación los rizomas (como se muestra en la Figura 1.5), pueden ser:

- Paquimórfico o simpodial, que se caracteriza por ser fusiforme, corto, sólido y grueso, con crecimiento de los culmos en grupos o cepas aglutinadas que alcanzan su máximo diámetro y peso en un tiempo entre 110 y 120 días. Sus yemas laterales solo producen más rizomas y las yemas auxiliares sólo culmos.
- Leptomórfico o monopodial, son rizomas largos, delgados y raramente sólidos. Las yemas laterales sólo producen culmos y su cuello es corto. Los culmos crecen en cepas abiertas o de manera aislada, alcanzando su altura final en un periodo de entre 30 y 80 días.
- Anfipodial, es aquel que posee cualidades de los dos anteriores, sin embargo muy pocas especies lo presentan.

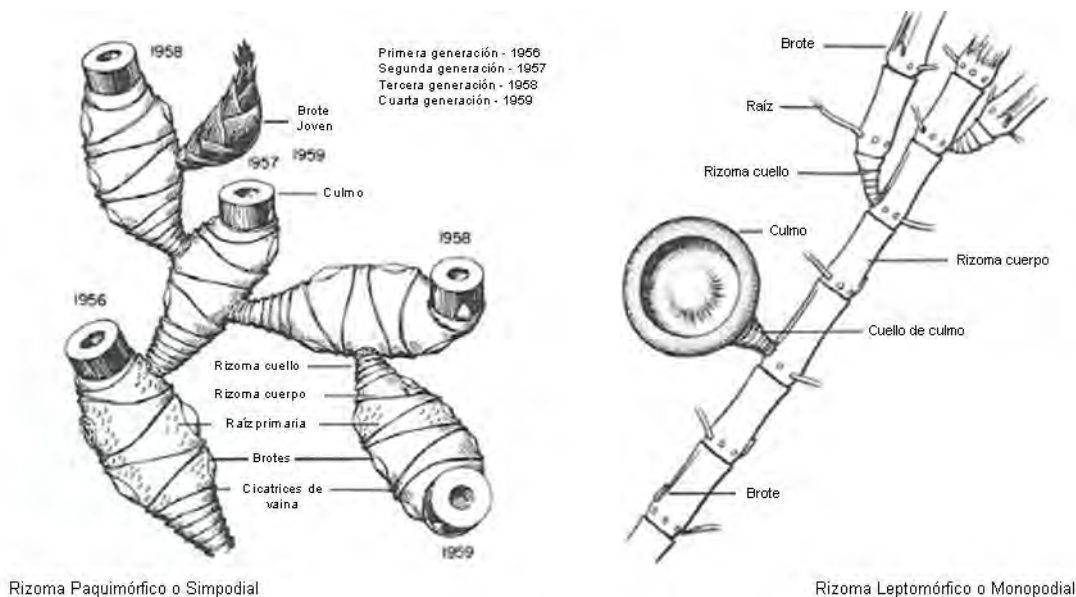


Figura 1.5. Izq. Paquimórfico o simpodial; Der. Leptomórfico monopodial. Traducido por el autor. (McClure 1972)

El tipo de rizoma que presentan los bambúes depende directamente de su hábitat. En climas tropicales las especies con rizomas paquimorfos y anfipodial son más comunes, en América predominan los de cuello corto a excepción del género *Olmeca soderstr.* Por el contrario las leptomórficas predominan en climas fríos. De acuerdo con Judziewicz et al (1999) solo las especies con este último tipo de rizoma presentan comportamientos colonizadores, como algunos miembros del género *Chusquea Kunth* (Rodríguez 2005).

1.3.3. Culmo

El culmo o tallo se desarrolla a partir de una yema del rizoma. Su forma es cilíndrica y puede ser hueco o sólido. Debido al crecimiento telescópico que presenta a lo largo de su desarrollo, emerge con el mismo diámetro que tendrá durante todo su ciclo de vida.

La parte externa del culmo está constituida por la epidermis, hipodermis y el parénquima subyacente (capa fotosintética), las cuales constituyen una capa delgada. Internamente está formado por haces vasculares que varían en forma, número, tamaño y tipo acorde a la posición del culmo y la especie de bambú. Su resistencia es otorgada por estos haces vasculares constituidos por vasos, tubos cribosos y fibras de paredes gruesas. Estas últimas constituyen entre el 60 y 70 % del peso de la sustancia leñosa del tallo del bambú y su densidad es mayor en la periferia que en el centro.

Los culmos huecos (especies leñosas), se dividen transversalmente por estructuras sólidas llamadas tabiques o diafragmas que guardan diferentes distancias entre sí y pueden llegar a almacenar entre sus espacios agua (Figura 1.6). El género y la especie determinan la separación entre estas estructuras.

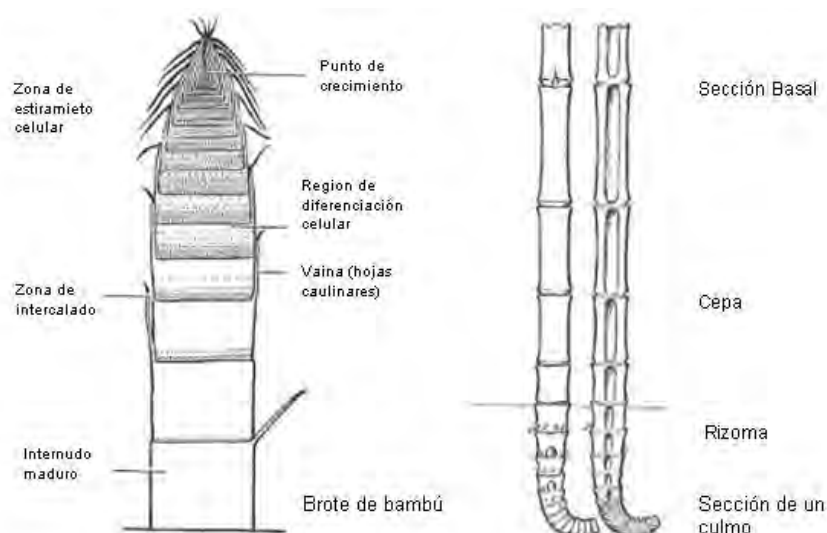


Figura 1.6. Diagrama longitudinal de un culmo de bambú joven (izq) y corte longitudinal de un culmo. Traducido por el autor. (McClure 1966)

Por el exterior se encuentran los nudos, que son los que le otorgan la flexibilidad y resistencia al bambú, y aunque no presenta madera como en las dicotiledóneas, la dureza de la estructura está determinada por sustancias químicas específicas en distintas proporciones (Rodríguez 2005).

De acuerdo con Judziewicz et al. (1999) gran parte de las especies alcanzan su altura máxima entre los 30 y los 120 días, de acuerdo con el tipo de rizoma que presentan. Muy pocas especies son de hábitos trepadores. El proceso de lignificación del culmo, aunque en apariencia comienza temprano, la maduración requiere de más de 2 años. De acuerdo con la especie los tallos pueden variar en altura, diámetro, espesor de las paredes, distancia entre nudos, formas de crecimiento e incluso en color.

1.3.4. Ramas y hojas

Durante su crecimiento inicial el culmo se encuentra envuelto completamente por hojas caulinares o vainas de forma triangular. Estas se forman en cada uno de los nudos con la función de proteger las yemas que originan las ramas. Algunas especies presentan pubescencia (presencia de pelo fino). Las hojas caulinares son útiles para estudios taxonómicos dado que varían de tamaño, color y forma con la especie (Judziewicz et al. 1999).

Generalmente la ramificación de los tallos se presenta de la parte media o sobrepasa hacia el ápice o copa del tallo. Y siempre brotan de los nudos, aunque existen especies que no poseen ramas. Las hojas son pecioladas y renovadas cada dos años. El número de ramas y hojas que se presenta por nudo es una característica importante para diferenciar taxonómicamente las especies. De acuerdo a las investigaciones de Montiel (1998), mientras mayor sea el número de ramas y hojas el proceso fotosintético será mayor, resultando en un culmo más fuerte y un crecimiento y desarrollo más rápido. La Figura 1.7 muestra tres géneros de bambú y la cantidad de rama que crece por nudo: *Sasa* (1), *Phyllostachys* (3), *Arundinaria sinarundinaria* (5). (Rodríguez 2005).

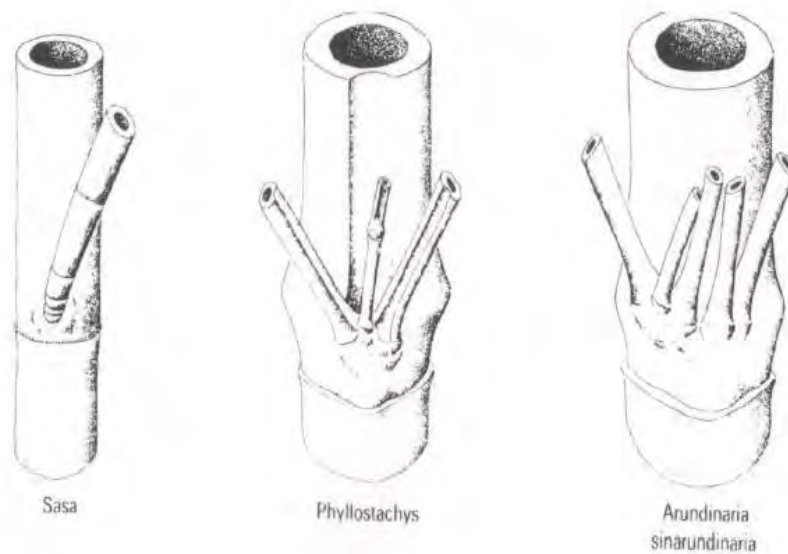


Figura 1.7. Número de ramas por género de tres géneros de bambú. (Rodríguez 2005)

1.3.5. Flores y frutos

Cortés (2000) ha documentado que en los bambúes leñosos los periodos de floración se presentan desde los 3 hasta los 120 años, después de este evento el bambú muere en partes o totalmente. La razón de que la planta de bambú muera después de un evento de floración radica en que las hojas viejas caen y en lugar de ser reemplazadas por las nuevas, su lugar lo toman las flores dejando la planta con muy pocas hojas. Esto reduce drásticamente las funciones de la planta lo que provoca en un breve tiempo su muerte. Aquellas especies que no mueren generan un tipo secundario de hojas, manteniendo así las funciones de la planta (Rodríguez 2005).

Según Montiel (1998) el proceso de floración puede durar de uno a dos años según la especie. De acuerdo con Cruz (1994) y Cortés (2000) la floración puede ser esporádica o gregaria. La primera se presenta solo en una o algunas de las cañas de una misma población, mientras que durante la segunda la totalidad de las plantas florecen.

1.4. Distribución geográfica del bambú

1.4.1. Contexto mundial

Los bambúes crecen de forma natural en todos los continentes excepto en Europa. Pueden ser encontrados entre las latitudes 32° sur y 46° norte. Generalmente prefieren los climas tropicales y subtropicales con temperaturas anuales promedio entre 20°C y 30°C, aunque algunas especies pueden vivir en las planicies con temperaturas tan elevadas como los 40 o 50°C (*Oxythenanthera abyssinica* en África central) y otros tipos pueden soportar los climas fríos con temperaturas debajo de 0°C (*Phyllostachys mitis* en China), (Yu 2007).

McClure se refiere al bambú como un elemento que aparece más o menos abundante en la vegetación natural de muchas partes de las regiones tropicales, subtropicales y templadas de todo el mundo, presente desde el nivel del mar hasta altitudes cercanas a los 4,000 metros, siempre que exista una combinación adecuada de factores ecológicos. Su distribución natural es muy desigual, tanto en lo que respecta a la abundancia como a la variedad de clases para una zona determinada. Por la acción del hombre la distribución de muchas especies de bambú se ha ampliado. Este proceso se ha venido desarrollando probablemente desde hace mucho tiempo y su alcance real no ha sido sobrevisto.

La mayor concentración de bambúes y el mayor desarrollo de sus usos se pueden encontrar en las costas del sudeste de Asia y las islas cercanas. Esta área se extiende desde India hasta China en el continente y de Japón a Java en las islas. Cercano a las 20 especies peculiares se han documentado en África. Australia tiene quizá tiene una docena de especies nativas, Europa ninguna. En el hemisferio occidental la distribución de bambúes se da desde los Estados Unidos de América hasta Chile. Existen cerca de 200 especies en estas zonas, pero erráticamente distribuidas. Muchas especies aún no se conocen del todo y algunas han sido clasificadas con más de un nombre, pero la taxonomía mundial se acerca a las 700 especies, clasificadas en cerca de 50 géneros distintos. (McClure 1972)

Para los trabajos de campo, R. Soderstrom coincide con McClure y se refiere a la República de Madagascar como el área de mayor interés para la recolección de especímenes, donde casi todos los bambúes son endémicos. Existen más tipos diferentes de bambú en la isla de Madagascar que en todo el continente africano (McClure 1972). Pero no siempre géneros nuevos están en lugares remotos o alejados de los caminos. Olmeca, un género descrito por

McClure y Soderstrom en 1981 crece abundantemente a los lados de la carretera de la Estación Biológica de la Universidad Veracruzana en México. *“Por años, los estudiantes y profesores de botánica han pasado cerca de este bambú, sin darse cuenta de que se trataba de un género desconocido para la ciencia.”* (Soderstrom, 1985) Otras áreas de interés para producir nuevos taxones de bambú son las costas del este de Brasil, tierras bajas tropicales de América, la región de la Guyana, la cuenca del Amazonas y los Andes. Las montañas del este de la India y la frontera de Birmania y China, así como los bosques tropicales del oeste de África son para el investigador estadounidense, lugares que según Soderstrom proveerán de más especies de bambúes herbáceos.

Un estudio multidisciplinario y con colaboración de varios países fue llevado a cabo en 2003 por las organizaciones UNEP-WCMC (United Nations Environment Programme - World Conservation Monitoring Centre), y la INBAR (International Network for Bamboo and Rattan). Bystriakova (China), Kapos (UK), Stapleton y Lysenko (UK) son algunos de los investigadores autores de dos compendios de biodiversidad mundial del bambú divididos por concentraciones, el primer tomo comprende África, Madagascar y las Américas, y el segundo el continente Asiático en la región del Pacífico. En cuanto a la región Asiática del Pacífico, la principal concentración se presenta en China con 626 especies, seguida de India con 102, Japón con 84, Myanmar 75, Vietnam 69 y Malasia con 50, por mencionar las principales. En la imagen siguiente (Figura 1.8) se observa la distribución en toda esta región.

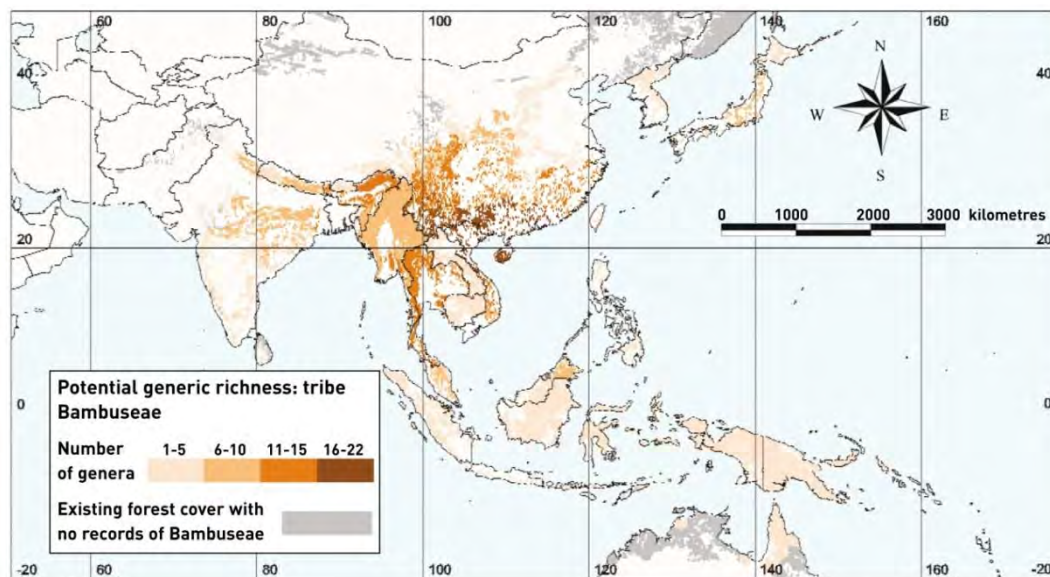


Figura 1.8. Mapa de distribución integrando 60 géneros de Bambuseae en una sola red sección (INBAR 2003).

Respecto a la distribución de especies en el continente Americano la siguiente tabla (Tabla 1.1) aportada en los reportes del INBAR nos muestra la distribución de especies por países.

COUNTRY/TERRITORY	No. OF NATURALLY OCCURRING SPECIES	COUNTRY/TERRITORY	No. OF NATURALLY OCCURRING SPECIES	COUNTRY/TERRITORY	No. OF NATURALLY OCCURRING SPECIES
Brazil	134	Argentina	12	Uruguay	5
Venezuela	68	Guatemala	12	Suriname	4
Colombia	56	Honduras	8	Belize	3
Ecuador	41	El Salvador	7	Bahamas	1
Costa Rica	36	Haiti	7	Dominica	1
Peru	35	Nicaragua	7	French Guiana	1
Mexico	32	Trinidad and Tobago	7	Guadeloupe	1
Bolivia	20	Dominican Republic	6	Jamaica	1
Panama	19	Paraguay	6	Martinique	1
Chile	14	Guyana	5	United States	1
Cuba	13	Puerto Rico	5	Virgin Islands	1

Tabla 1.1. Número de especies de Bambuseae en Norte, Centro y Sudamérica (INBAR 2003).

El continente americano es conjuntamente más rico en especies de bambú que África continental o Madagascar, pero tiene una densidad más baja que Asia en la región del Pacífico (Bystrakova et al. 2003). Actualmente existen 20 géneros de bambú leñoso originarios del Nuevo Mundo. La mayor diversidad se da en Sudamérica. Brasil posee casi el doble de las especies que tienen Venezuela y Colombia, que son en comparativa el doble de ricas que la zona más rica de Mesoamérica (Costa Rica y México). Estados Unidos solo tiene una especie de bambú leñoso al igual que muchas islas del Caribe (INBAR 2003).

Los estudios de Judziewicz en 1999 ya identificaban las zonas de Brasil, norte y centro de los Andes y México como las zonas de mayor diversidad de bambú en América. El estudio realizado por el INBAR en 2003 confirmo esto, identificando a Sao Paulo como el estado con el mayor número de especies concurrentes de bambú.

Debido a esta distribución no uniforme de bambúes en América, los países que mayor tradición en su uso tienen son Colombia, Ecuador y Brasil. Aunque nuestro continente nunca ha tenido una „cultura de bambú“ en la forma en que Japón o China la han tenido, esta planta si tiene un importante papel en las comunidades de estas regiones y muchas especies son utilizadas. Las imágenes siguientes (Figuras 1.9 y 1.10) muestran la distribución en mapas de distintas especies de bambúes leñosos en el continente Americano.

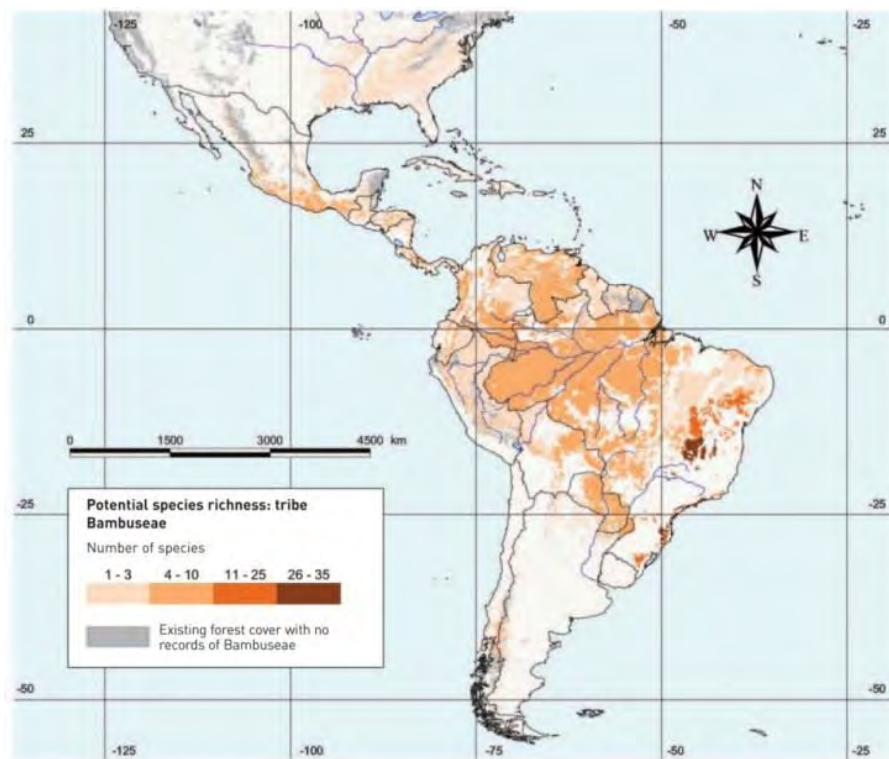


Figura 1.9. Mapa de la distribución de bambúes leñosos en América mezclando 341 especies nativas. (INBAR 2003).

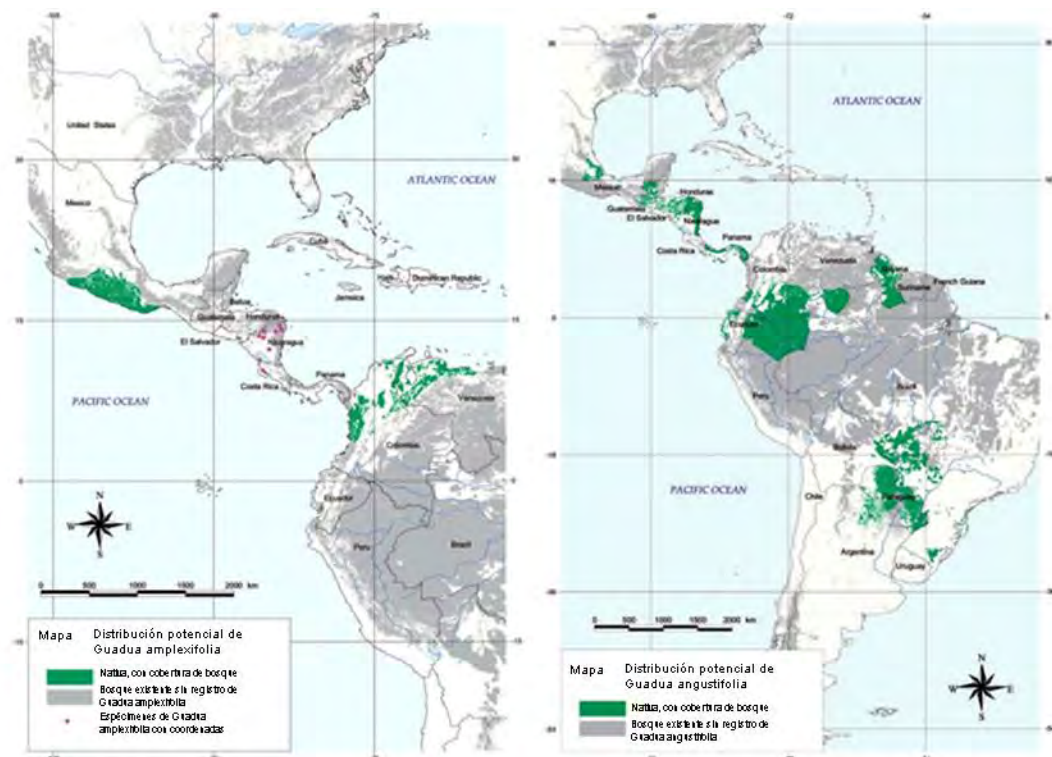


Figura 1.10. Mapas de distribución de *Guadua amplexifolia* y *Guadua angustifolia* en América. (INBAR 2003).

1.4.2. Bambúes de México

Clasificado por Soderstrom como “de moderada diversidad”, México posee ocho géneros con 35 especies de bambúes leñosos y tres géneros con cuatro especies de bambusoides herbáceos que habitan principalmente los estados del sureste. (Cortés 2000)

Varios estudios se han realizado sobre los bambúes nativos en México, entre los más destacados se encuentra el realizado por Cortés (2000) por parte de CONABIO, Rodríguez (2005) del Colegio de Geografía de la UNAM y Mejía (2014) del Departamento de Biología Evolutiva en el Instituto de Ecología INECOL, A.C. De este último estudio cabe destacar el esfuerzo realizado por los investigadores en el Jardín Botánico Francisco Javier Clavijero formando la Colección Nacional de Bambúes Nativos de México. La cual consta de 27 bambúes nativos en exhibición desde 2005, año en que es reconocida como Colección Científica por la Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, A.C.

Gracias a estas investigaciones y otras más, tenemos la clasificación de géneros y especies de bambúes nativos de México como sigue:

Olmeca, es un género con dos especies endémicas y presentes en México, caracterizado por la presencia de frutos carnosos (característica compartida por sólo cuatro especies del mundo), habita las selvas húmedas de Veracruz y Chiapas, teniendo su mayor presencia en las selvas altas de la región de Uxpanapa, hasta hace pocos años.

Las cinco especies del género *Guadua* que habitan en nuestro territorio son las más grandes de los bambúes mexicanos. En particular *G. aculeata* que llega a medir 25m de alto con un diámetro de 25 cm; ha sido utilizada para la construcción de viviendas en el norte de Veracruz principalmente.

Chusquea es el género más diverso del mundo, con 200 especies de las cuales 17 se encuentran en México y habitan las montañas húmedas de Veracruz, Oaxaca, Chiapas y Jalisco, aunque se ha encontrado una especie que habita las montañas de Nuevo León. *C. muelleri*, *C. perotensis*, *C. bilimekii*, *C. circinata*, *C. aperta*, *C. repens* y *C. glauca* son endémicas de México y en algunos casos solo se conocen poblaciones confinadas a uno o dos sitios, por lo que se puede considerar que algunas de estas especies están en peligro de extinción.

Sólo se conoce una pequeña población de *Merostachys*, situada en el estado de Chiapas, pero aún no se puede determinar su estado taxonómico por desconocer aún sus flores.

Rhipidocladum es un género con cuatro especies distribuidas desde Tamaulipas hasta los límites con Guatemala, es un género cuyas especies son más o menos abundantes. De *R. martinezii* solo se ha encontrado una población en el volcán de Tacaná.

Del género *Arthrostylidium* solo se tiene reportada una especie, *A. excelsum* la cual crece en tres o cuatro localidades de Chiapas libremente.

Otatea tiene dos especies y es el bambú leñoso y nativo de México más abundante en su población. Ocupa grandes superficies y en ciertas zonas es la única planta que crece. *O. acuminata* es la especie más usada por las poblaciones rurales de México ya que con sus tallos se construye el bahareque que sirve como paredes de viviendas tradicionales de los estados de Jalisco y Veracruz.

Aulonemia tiene tres especies presentes en las montañas húmedas de Oaxaca, Veracruz y Chiapas. Son plantas de tallo no mayor a 3 cm de diámetro, poco conocidas por los botánicos y poco abundantes. Dos son especies endémicas de México *A. fulgor*, *A. laxa*.

Rodríguez Marín (2005) señala que la riqueza de especies de bambú en México radica principalmente en que el territorio nacional se encuentra en la zona de transición de dos regiones fitogeográficas: la paleotropical y la neotropical, lo cual aunado a una compleja topografía favorecen la diversidad de climas y ambientes óptimos para el desarrollo y evolución de estos organismos. Así mismo presenta un estudio detallado de la distribución de especies nativas, introducidas y endémicas presentes en México con resultados en mapas y gráficas, especificando la cantidad de especies por entidad federativa. Cabe mencionar que a pesar de que las especies de bambú mexicanos se distribuyen por 23 estados, la mitad de las riquezas se concentran en sólo 4: Chiapas (17%), Veracruz (14%), Oaxaca (13%) y Guerrero (7%). Respecto a las especies introducidas, enfatiza que la introducción de nuevos organismos puede tener dos aspectos negativos: a) las especies introducidas pueden convertirse en invasoras al encontrar características propicias para la colonización, b) dada la riqueza de especies nativas en el país, estas se subutilizan perdiendo una opción viable de uso al ser desplazadas.

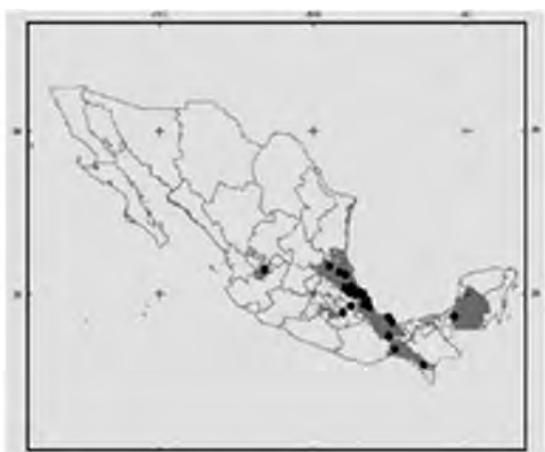
En la siguiente tabla (Tabla 1.2) se resumen los géneros de bambúes mexicanos, sus especies y categorías:

Género	Subgénero	Sección	Especies	Categoría
<i>Aulonemia</i> Goudot			<i>Aulonemia clarkiae</i> Davidse & R. Pohl	nativa
			<i>Aulonemia fulgor</i> Soderstrom	endémica
			<i>Aulonemia laxa</i> (Maekawa) McClure	endémica
<i>Arthrostylidium</i> Ruprecht			<i>Arthrostylidium excelsum</i> Griseb	nativa
<i>Olmea</i> Soderstrom			<i>Olmea recta</i> Soderstrom	endémica
			<i>Olmea reflexa</i> Soderstrom	endémica
<i>Otatea</i> (McClure et E.W. Smith) C. Calderón et Soderstrom			<i>Otatea acuminata</i> (Munro) C. Calderón & Soderstrom	nativa
			<i>Otatea acuminata ssp. acuminata</i>	nativa
			<i>Otatea acuminata ssp. aztecorum</i> R. Guzmán, Anaya & Santana	nativa
			<i>Otatea fimbriata</i> Soderstrom	nativa
			<i>Otatea glauca</i> Clark & Cortés	endémica
<i>Chusquea</i> Kunth	<i>Chusquea</i>	<i>Longifoliae</i> L.G. Clark	<i>Chusquea foliosa</i> L.G. Clark	nativa
			<i>Chusquea mulleri</i> Munro	endémica
			<i>Chusquea repens</i> L. Clark & Londoño	endémica
			<i>Chusquea repens ssp. repens</i>	nativa
			<i>Chusquea repens ssp. oaxacacensis</i> L. Clark & Londoño	nativa
			<i>Chusquea sulcata</i> Swallen	nativa
			<i>Chusquea aperta</i> L. G. Clark	endémica
			<i>Chusquea longifolia</i> Swallen	nativa
			<i>Chusquea nelsonii</i> Scribn. & J.C.G. Sm.	nativa
			<i>Chusquea glauca</i> L. G. Clark	endémica
	<i>Swallenochloa</i> (McClure)	<i>Serpentes</i> L.G. Clark <i>Verticillatae</i> L.G. Clark	<i>Chusquea coronalis</i> Soderstr. & C. E. Calderón	nativa
			<i>Chusquea galeottiana</i> Rupr. ex Munro	endémica
			<i>Chusquea liebmammii</i> Fournier	nativa
			<i>Chusquea pittieri</i> Hackel	nativa
			<i>Chusquea simpliciflora</i> Munro	nativa
			<i>Chusquea circinata</i> Soderstrom & Calderón	nativa
			<i>Chusquea bilimekii</i> E. Fourn	endémica
			<i>Chusquea lanceolata</i> A. Hitchcock	nativa
			<i>Chusquea perotensis</i> L. Clark, Cortés & Cházaro	endémica

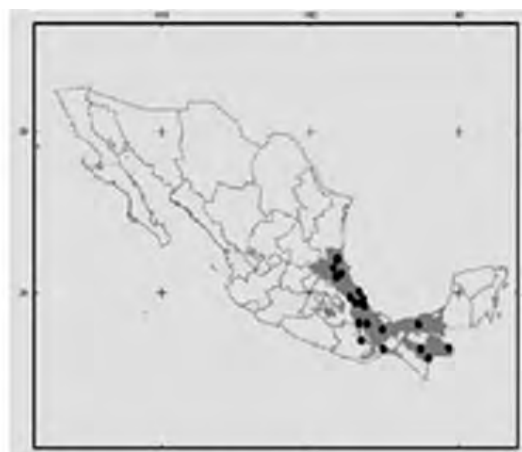
<i>Guadua</i> Kunth	<i>Guadua aculeata</i> Rupr. ex E. Fourn	nativa
	<i>Guadua amplexifolia</i> J.S. Presl	nativa
	<i>Guadua longifolia</i> (Fourn.) R. Pohl	nativa
	<i>Guadua paniculata</i> Munro	nativa
	<i>Guadua velutina</i> Londoño L. G. Clark	endémica
	<i>Guadua angustifolia</i> Kunth	introducida
<i>Merostachys</i> Spreng	<i>Merostachys</i> ssp.	nativa
<i>Rhipidocladum</i> McClure	<i>Rhipidocladum bartlettii</i> (McClure) McClure	nativa
	<i>Rhipidocladum martinezii</i> Davidse & R.Pohl	endémica
	<i>Rhipidocladum pittieri</i> (Hackel) McClure	nativa
	<i>Rhipidocladum racemiflorum</i> (Steudel) McClure	nativa
<i>Phyllostachys</i> Siebold & Zucc.	<i>Phyllostachys aurea</i> Rivière & C. Rivière	introducida
	<i>Phyllostachys bambusoides</i> Siebold & Zucc.	introducida
	<i>Phyllostachys nigra</i> (Lodd. ex Lindl.) Munro	introducida
<i>Bambusa</i> Schreber	<i>Bambusa vulgaris</i> Schrader ex Wendl	introducida
	<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>Vittata</i> Rivière & C. Rivière	introducida
	<i>Bambusa textilis</i> McClure	introducida
	<i>Bambusa oldhamii</i> Munro	introducida
<i>Dendrocalamus</i> Nees	<i>Dendrocalamus strictus</i> (Robx.) Nees	introducida

Tabla 1.2. Bambúes de México. (Rodríguez M. 2005)

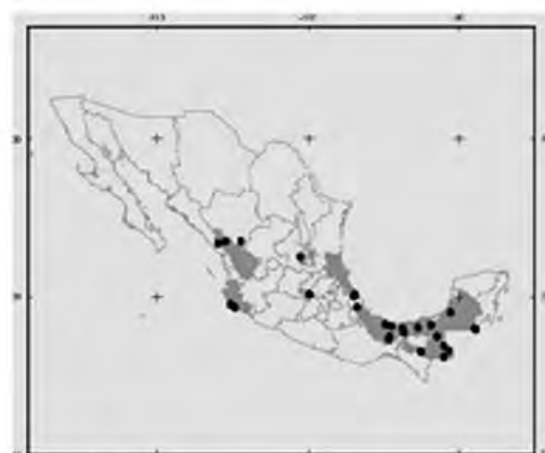
A través de un extenso estudio y por medio de una simulación de diversos factores físicos y bioclimáticos, Rodríguez Marín (2005) presenta en su estudio la distribución potencial de especies nativas, endémicas e introducidas en mapas de la república Mexicana. A continuación la Figura 1.11 muestra el resultado para 6 especies considerados de mayor interés para la presente investigación.



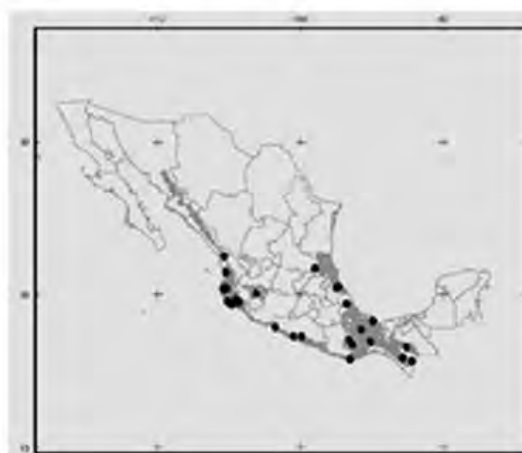
Guadua aculeata



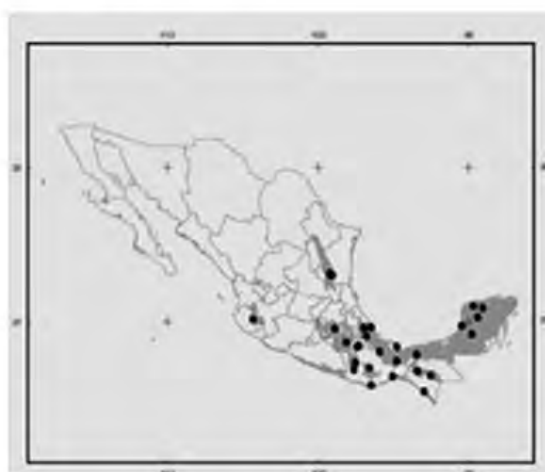
Guadua amplexifolia



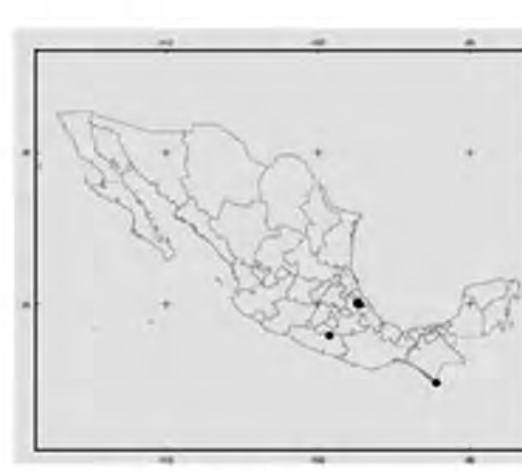
Guadua longifolia



Guadua paniculata



Bambusa vulgaris



Guadua angustifolia

Figura 1.11. Modelos de distribución potencial de especies de bambú en México. (Rodríguez M. 2005)

1.5. Silvicultura

La silvicultura consiste en un proceso de manejo de plantaciones desde la siembra de la planta y un posterior corte sistemático de tallos de determinadas edades para permitir la regeneración de nuevos tallos que anualmente producen los rizomas, considerando la especie y la aplicación que se le dará al bambú (Flores, 2009). Una serie de normas presentada por esta autora para el cultivo y propagación del bambú, basándose en estudios experimentales de especies similares a las mexicanas en la India, es de remarcar en este tema.

Por lo general los bambúes se propagan por semilla o por fracción vegetativa. La propagación por semilla es poco utilizada por la dificultad que existe en la obtención de semillas. Ya que estas provienen del esporádico florecimiento del bambú, presentado con muy largos periodos de intervalo. La propagación asexual o por fracción vegetativa se puede dividir en las siguientes técnicas: transplante directo, rizoma y parte del tallo, rizoma solo, segmentos del tallo, tallo con raíces y rizoma y cepa con raíces.

El Departamento de Ciencia y Tecnología de la India (TIFAC 2004) presenta en una serie de manuales los pasos a llevar para la propagación vegetativa basada en el rizoma. Este es un método altamente probado y practicado donde un segmento del rizoma es separado de la planta madre para generar una independiente. Los rizomas deben ser separados con cuidado utilizando instrumentos afilados y limpios, asegurando que el rizoma no se dañe con los siguientes pasos. Un rizoma sano debe tener un color similar a la paja o amarillo, un color rojizo o con manchas oscuras indica un rizoma con mala salud. Se debe separar el segmento de rizoma de la planta madre por el cuello sin dañar sus yemas o raíces. No se debe cortar por el medio del rizoma. Después del corte se debe cubrir con tierra al rizoma madre.

La distancia de siembra es esencial. Para los bambúes leñosos de crecimiento paquimórfico o simpodial esta debe encontrarse en el rango de 3 a 4.50 metros dispuesta en marco real, es decir se debe trazar una retícula cuya separación sea de 3 x 3 metros hasta 4.5 x 4.5 metros, según el diámetro de los tallos de la especie que se cultiva. El sembrar las plántulas distancias menores generará problemas posteriores en el manejo de la plantación por la congestión que se formará al cabo de varios años, debido a la ramificación de rizomas y el creciente número de tallos por planta.

1.6. Cosecha y manejo posterior

Los reportes para el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural en Colombia por Perea R. et al. (2003), los manuales realizados por la Environmental Bamboo Foundation (EBF), así como las investigaciones de Forero G. y Souza W. (2008), y otras como las de Morales P. (2002), J.A. Janssen (2000), A. Montoya (2002) e Hidalgo López (1982), muestran coincidencias al describir el corte y tratado de los tallos de bambú y guadua.

Tradicionalmente el bambú y la guadua se cosechan en su etapa madura asociando el corte con la fase lunar y la hora (entre el primero y tercer día de la fase menguante y entre las 12 de la noche y las 6 de la mañana) cuando existe menor luminosidad y la circulación de líquidos en la planta es menor debido a que no se ha iniciado la función de fotosíntesis (Forero G., Souza W. 2008).

El corte efectuado al tallo debe ser realizado a ras del primer nudo basal evitando la formación de depósitos de agua que pueden derivar en la pudrición del rizoma y la muerte de la planta. Un corte limpio y parejo preserva la planta para su propagación futura y propicia el brote de renuevos (Perea R. et al. 2003).

El tallo cortado debe ser sometido a un proceso de “curado” para garantizar su mayor durabilidad y reducir el ataque posterior de insectos xilófagos. Este curado consiste en dejar en pie el tallo una vez cortado sobre una piedra que lo aisle del suelo y recostado sobre los demás tallos de la mata, de tal forma que la savia compuesta de agua, azúcares y almidones se escurra. En estas condiciones tomará de unos 20 a 30 días al tallo descargar los líquidos y los carbohidratos restantes convertirlos en fenoles y alcoholes (Forero, Souza 2008). Sin embargo se ha demostrado que el método tradicional de curado en mata no es el más adecuado, por lo que existen múltiples investigaciones respecto del manejo posterior de tallos de bambú tomando en cuenta su destino final. Por el enfoque de este trabajo se explicarán brevemente las técnicas de tratamiento de los tallos sin alterar, pues existen distintos métodos si el uso final es en tablillas o laminados.

“El deterioro por ataques de insectos y hongos y por la acción del fuego es el inconveniente más grave del bambú como material de construcción. Con frecuencia, ese deterioro impone que las estructuras de bambú se reconstruyan cada dos o tres

años. Con un tratamiento adecuado con sustancias de preservación la vida de una vivienda de bambú puede prolongarse a 15 años o más.” (UN 1972, p22.)

Algunos métodos tradicionales y pasivos son el secado en mata, el secado por calor o por inmersión de agua. Este último ha sido usado como método tradicional de reemplazo de los líquidos contenidos en los tallos por agua con un periodo de inmersión de 4 a 12 semanas. Este tiempo se reduce al colocar los tallos en una corriente de agua tal como un río o canal. Sin embargo estos métodos no han resultado eficientes para mejorar la resistencia y durabilidad del bambú. (Hidalgo 2003). El secado por calor se realiza a una temperatura de 150°C por un corto periodo de tiempo para que la estructura externa cambie y se vuelva más resistente contra insectos. Es un tratamiento considerado muy efectivo, sin embargo los tallos pueden dañarse si se dejan mucho tiempo en este sistema. Su inconveniente es fabricar un contenedor lo suficientemente grande para cocer los tallos en él. (RWTH Aachen University 2002).

En la actualidad el método más utilizado, si el bambú va a emplearse en su forma cilíndrica con los internodos intactos, es el de Boucherie. En este método por gravedad o por presión de aire comprimido se reemplaza la savia por una mezcla de agua y boro u otros elementos químicos en una proporción que no supera el 12%. El método Boucherie simple puede aplicarse de dos formas: colocando el tallo de bambú verticalmente y llenando su entrenudo superior con el preservativo, dejándolo en esta posición hasta que la solución haya bajado a lo largo de su pared (éste método también es conocido como Vertical Soak Diffusion). O también utilizando un tanque abierto en su parte superior al cual se le coloca en la parte inferior una salida con una válvula, conectada al extremo del bambú con una sección de cámara de llanta. En este caso debe tenerse cuidado de dejar el tanque más elevado que el bambú, como se muestra en la Figura 1.12

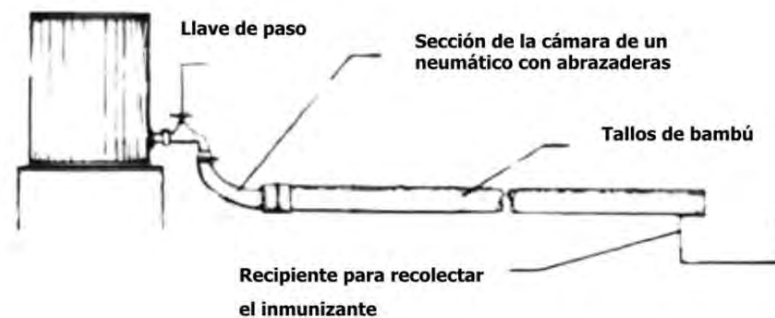


Figura 1.12. Método Boucherie por gravedad. (Hidalgo 1982)

En el método Boucherie modificado el tanque que se emplea debe ser hermético con un medidor de presión y tapa de llenado para verter la solución no más de 3/4 partes del total del tanque. A éste se le aplicara una presión de 10 a 15 psi. De todos los métodos este es el más rápido y efectivo, pues permite tratar varios tallos de bambú al mismo tiempo. La Figura 1.13 es un esquema de este método y sus conexiones.

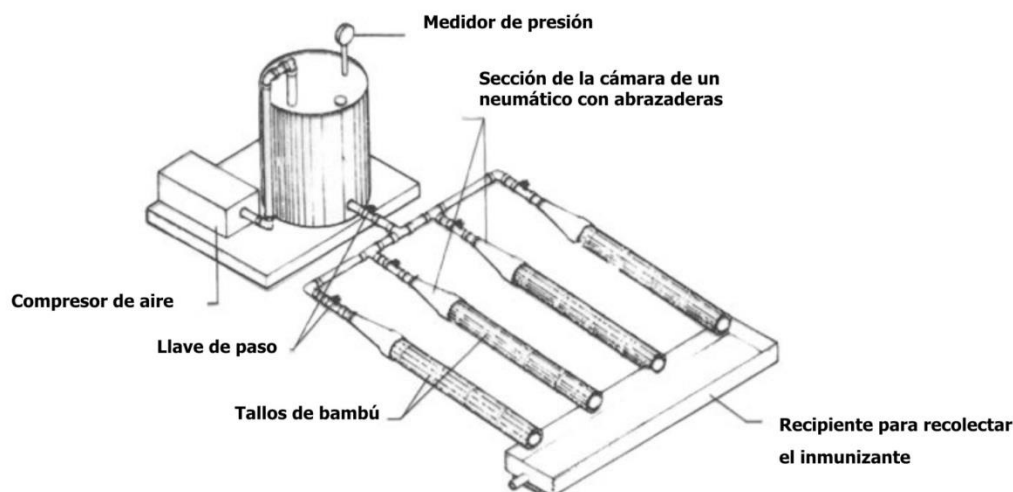


Figura 1.13. Método Boucherie modificado. (Hidalgo 1982)

Los preservativos que se pueden utilizar para inmunizar el bambú pueden ser de varios tipos. Pero deben tener los siguientes puntos en común. Ser lo suficientemente activos para impedir la vida y desarrollo de microorganismos interiores y exteriores. Que su composición no afecte los tejidos del bambú para no disminuir sus cualidades físicas y mecánicas. Ser solubles en agua. No tener un olor fuerte o desagradable que impida el empleo del bambú en interiores. Y que no modifiquen el color del bambú. Algunas de las soluciones que se emplean son: las sales de Bolinden; cloruro de zinc y dicromato de sodio; sulfato de cobre y ácido acético; siendo la más empleada por su costo accesible el bórax y ácido bórico en una proporción no mayor al 12% (Hidalgo 2003).

1.7. Usos principales del bambú

Registros ubican los primeros empleos del bambú en el año 3500 BC y posee más de 1500 usos documentados. En la actualidad es una planta capaz de proveer diversas soluciones a las necesidades humanas de vivienda, de sustento, brindando incluso opciones ecológicas al sustituir productos maderables y combustibles (DeBoer & Bareis 2000).

Por la calidad de sus fibras se le dan diferentes usos en la industria. El estudio de sus propiedades físicas y mecánicas, que incluye contenido de humedad, peso específico, resistencia a la compresión, tensión y flexión determina si un bambú es apto para la construcción o para la fabricación de muebles. De modo similar sus propiedades anatómicas designan un tallo para la fabricación de la pulpa para papel o como fibra textil (Botero C. 2004).

El bambú se encuentra enraizado profundamente en la cultura y el patrimonio de ciertos pueblos alrededor del mundo. Sus granos y brotes son ricos en proteínas, por lo cual es un alimento popular en Asia y constituye una fuerte industria de exportación en China, Taiwán, Japón y ciertos países del sureste de Asia. En cuanto a sus aplicaciones medicinales, existen textos antiguos tanto en China como en Latinoamérica que registran el uso de diversas partes de la planta para el tratamiento de la fiebre, problemas biliares, la lepra, para curar heridas, edemas, tos, así como purificador de la vejiga. Su utilización como combustible tanto doméstico como industrial es antigua pero aún vigente. Se estima que su combustión genera entre 4,000 y 6,000 cal/gr. Ha servido para la fabricación de instrumentos de viento, cuerda y percusión, siendo la flauta el más popular. A través del trenzado de sus fibras y el moldeado de sus tallos ha sido utilizado para el arte y las artesanías en una infinidad de aplicaciones. Se registra su primer empleo en la tecnología moderna en 1880 cuando Thomas A. Edison utilizó un filamento de carbón de bambú para su bombilla eléctrica. (Botero 2004)

Hacia finales de ese siglo en la India se realizó una innovación en la producción comercial de papel a partir del bambú. Su desarrollo ha derivado en una variedad de papeles y pastas para la producción de celulosa y rayón. El mercado actual de fabricación de papel a base de bambú es dominado por China y la India, Brasil es el único país americano que lo usa con este fin (Sánchez 2013).

Zhu Zhaohua miembro vitalicio del INBAR en China, clasifica los usos más comunes del bambú partiendo de su anatomía, la cual divide en 9 partes. Según se presenta en la Figura 1.14.

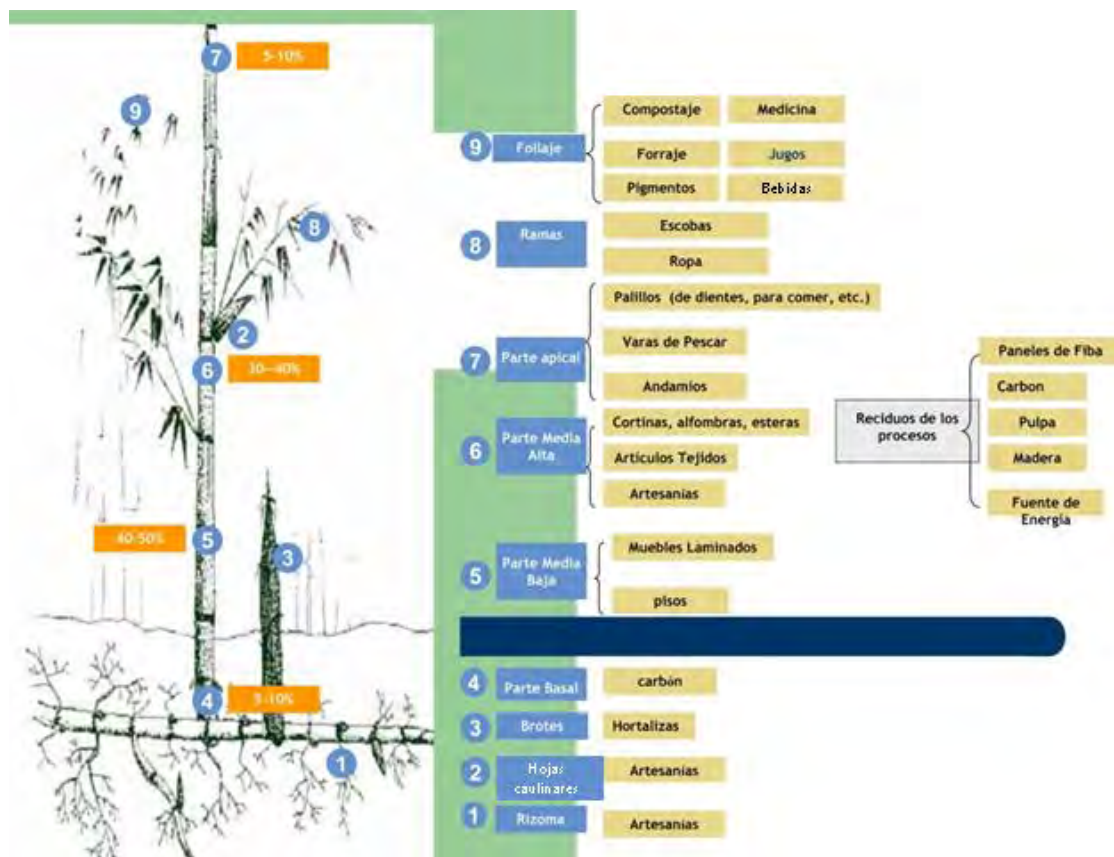


Figura 1.14 Usos del bambú en China por Zhu (Leyva & Romero 2013).

Xiaobing Yu (2007) divide en tres grandes ramas los posibles usos del bambú: la primera es la utilización del bambú como planta viva, donde destacan los empleos en fijación de agua y nutrientes al suelo; la segunda es la aplicación de éste como un material procesado, en las áreas de arquitectura, mobiliario, herramientas y trabajo de arte; por último la tercera es su uso como un símbolo cultural dentro de la pintura y caligrafía, literatura y filosofía.

A continuación se presenta una clasificación hecha por el autor de las diversas aplicaciones que se le da al bambú, realizada a partir de Hidalgo 1982, Luna 2007, Botero 2004, Forero y Souza 2007, J.A. Janssen 2000, Sánchez Sánchez 2001, así como reportes presentados por INBAR, SAGARPA y Bambumex. Los ejemplos aquí expuestos buscan dar un panorama de la amplitud de disciplinas en que el bambú puede estar presente.

Enseres: Recipientes, herramientas, utensilios de cocina, tapetes, juguetes. (Figura 1.15)



Figura 1.15 Bambú aplicado a enseres. (Leyva & Romero 2013)

Mobiliario: Asientos, mesas, estantes, camas, lámparas, sillones. (Figuras 1.16 y 1.17)



Figura 1.16 Muebles de bambú grupo Ojtat, Puebla (ojtat.org 2013)



Figura 1.17 Muebles de bambú TIBA Brasil (Leyva & Romero 2013)

Estructuras ligeras: Cercas, escaleras, ventanas, puertas, andamios, soportes, mamparas. (Figura 1.18)



Figura 1.18 Bambú en mamparas y andamios en China (a. Leyva y b. dwan.com 2013)

Ingeniería: Control de erosión de suelos, retención de taludes, Nivel Romano, retén de velocidad de agua en ríos, elevación y conducción de agua, puentes, biodigestores, edificación y arquitectura, vehículos. (Figura 1.19, 1.20 y 1.21)



Figura 1.19 Usos en arquitectura: a. Escuela Ecológica en Bali, b. Housing for Haiti (a. greenschool.org y b. evolou.us 2013)



Figura 1.20 Usos en ingeniería: puentes en Colombia a. Jorg Stamm, b. Simon Vélez. (bambooro.net 2013)



Figura 1.21 Usos en transporte: a. vehículo japonés y b. bicicleta mexicana. (a. Leyva y b. bamboocycles.com 2013)

Artes: Decoración, pintura, escultura, artesanías, música. (Figura 1.22)



Figura 1.22 Usos en las artes: a. instrumentos musicales (flautas, tambores, ocarina, xilófono); b. artesanías (vasos, lámparas, floreros) (bambumex.org 2013).

Industria: Pisos, papel, fibras y textiles, laminados, contrachapados, hardware y caratulas de artículos electrónicos, muebles, carbón, jabón. (Figura 1.23)

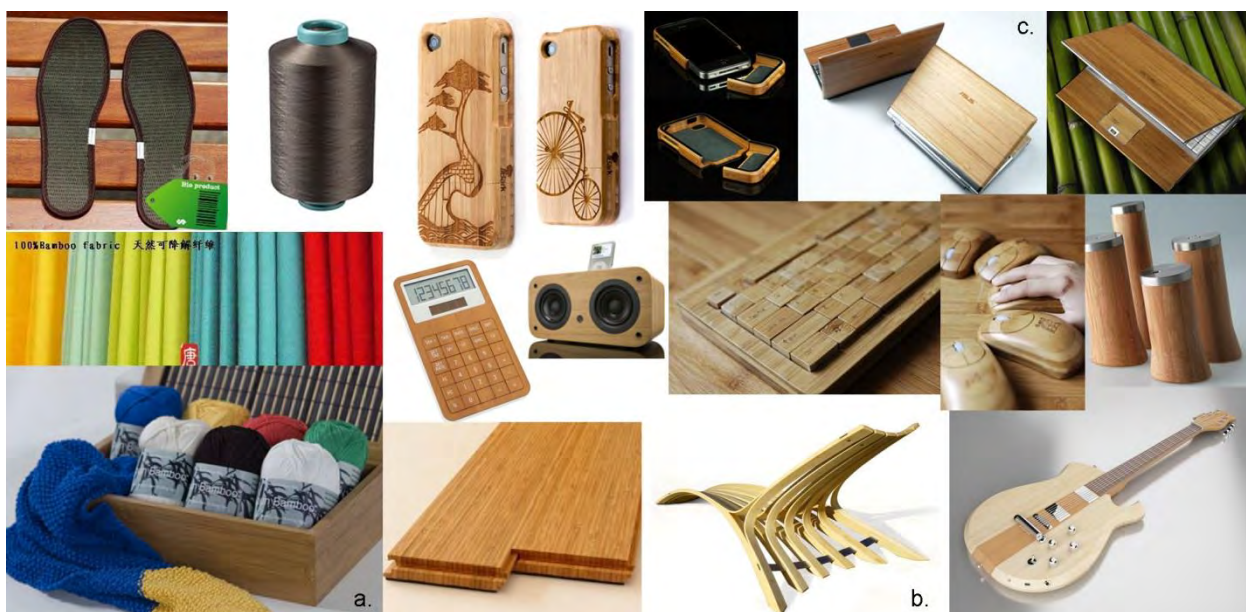


Figura 1.23 Usos en industria: a. textiles; b. laminados; c. electrónica (bambumex.org 2013).

Cultura: Escritura, religión, guerra, simbolismo. (Figura 1.24)



Figura 1.24 Usos en cultura: a. simbolismo y escritura de caracteres chinos (kanjis) relacionados con el bambú y sus usos; b. armas hechas con bambú; c. rituales y tradiciones (Leyva 2013, Yu 2007).

Como se puede observar en estos ejemplos mostrados el bambú es una planta con usos muy diversos en campos tan distintos como artesanías, mobiliario, decoración, ingeniería eléctrica, aeronáutica, hidráulica, mecánica, civil, medicina y construcción.

38

CAPITULO 2

CARACTERIZACIÓN DE LA ARQUITECTURA CON BAMBÚ

- 2. Arquitectura con Bambú
 - 2.1 Contexto histórico de su uso en la construcción
 - 2.1.1 Sistemas Tradicionales
 - 2.1.2 Sistema Bahareque
 - 2.1.3 El bambú en México
 - 2.2 Panorama actual de la arquitectura con bambú
 - 2.2.1 Ejemplos a nivel mundial
 - 2.2.2 Contexto nacional
 - 2.2.2.1 Organizaciones
 - 2.2.2.2 Empresas productoras
 - 2.2.2.3 Arquitectura
 - 2.2.2.4 Investigación
 - 2.3 Descripción de los principales sistemas constructivos basados en bambú
 - 2.3.1 Conexiones
 - 2.3.2 Cimentaciones
 - 2.3.3 Muros de bambú
 - 2.3.3.1 Quincha (Perú)
 - 2.3.3.2 Muro embutido con barro (Colombia)
 - 2.3.3.3 Bahareque con doble pared (Colombia)
 - 2.3.3.4 Muro tensionado (India – Colombia)
 - 2.3.3.5 Muro Japonés

2. Caracterización de la Arquitectura con bambú

2.1. Contexto histórico de su uso en la construcción

El bambú ha estado presente en la construcción y arquitectura del hombre desde tiempos ancestrales. Diversos investigadores y arqueólogos han rastreado su uso para herramientas desde el periodo Neolítico y existen pruebas de su aplicación en la arquitectura prehispánica del continente Americano (Botero C. 2004).

Tras una revisión de los autores Stamm (2008), Botero (2004), López (2014) y Flores (2009) se da al lector este contexto histórico con la finalidad de ubicarlo en el hecho de que estas técnicas constructivas son de gran tradición en ciertos lugares y que con ciertos ajustes pueden ser muy viables para su empleo hoy día.

2.1.1. Sistemas tradicionales

Ejemplos de sistemas con gran uso tradicional, son las casas en forma de colmena gigante de Etiopía, completamente tejidas en tiras de bambú (Figura 2.1). Las estructuras son una mezcla de cestas y conos alcanzando diámetros de más de 12 metros (Stamm, 2008).



Figura 2.1 Estructuras antiguas: a. Colmena de bambú tejida en Etiopía; b. Casa tribal en Ecuador, Arq J Ladisich (Stamm, 2008)

Con el avance técnico, la arquitectura muda hacia una casa con la concepción de poste y viga sobre un sistema de paredes. A este conjunto se le puede llamar casa arcaica o tribal. Es

interesante observar que las técnicas básicas usadas en las casas de bambú en lugares como India, China, Indonesia y Colombia son muy parecidas entre sí. Dependiendo de la región o recursos se utilizan tallos de maíz o chusque para cerrar las paredes improvisadas. Pero la vivienda debe dar más protección, así surge el sistema tradicional conocido como bahareque en todo el Caribe.

2.1.2. Sistema Bahareque

En una casa de bahareque se usan postes a distancia de un paso las cuales se amarran horizontalmente con bambúes aplastados llamados esterillas. En ciertos climas se repella con barro para impedir la entrada de insectos, y en otros especialmente fríos se amarran tiras rajadas llamadas latas y se rellena el espacio intermedio con barro. Este sistema constructivo es nativo de todo el Caribe y se extiende por los ríos Cauca y Magdalena en Colombia, por toda la Orinoquía y la Amazonia hasta Bolivia. El bahareque es vulnerable a la lluvia y la humedad, por lo que su protección se realiza desde el diseño llamado “buena bota y gran sombrero” (mostrado en la Figura 2.1b), pero es un sistema antisísmico por excelencia (Stamm, 2008).

El valor de las construcciones tribales se aprecia en varios detalles. En las excavaciones arqueológicas de viviendas se observa una planta ovalada que permite a la viga trabajar como una cinta de amarre y soporta así la cumbrera del techo cónico, sin poste en el centro. Sus techos inspiran con formas orgánicas, generalmente con aperturas en los extremos para generar ventilación y frescura.

Basado en las técnicas de la casa tribal y la construcción tradicional aunadas las técnicas de “boca de pescado y el bahareque, se desarrolla una vivienda más tecnificada tan conocida que los servicios de enseñanza nacional en Colombia lo han tomado como enseñanza básica en sus programas de formación a técnicos de la construcción civil. De esta forma se asegura una correcta transmisión de la tradición con la elaboración confiable de estructuras.

A partir del momento que el largo de un tronco natural no alcanza empieza la ingeniería. Desde tiempos medievales se conocen los sistemas de par y nudillo usados en iglesias españolas y coloniales. En el norte de Europa se ocupaba la cercha rey usando pendolones y tensores para transferir el gran peso de los techos de las catedrales y puentes. Estos sistemas propios de la

madera son muy fáciles de transferir al bambú, con ciertas limitantes. La unión de bambú está en desventaja a la compresión, así que debe ser ayudada con un relleno del vacío para evitar el aplastamiento. Pero en uniones de dos o más planos el bambú tiene un comportamiento más similar al de un tubo metálico y por ende sus conexiones pueden ser calculadas con programas computacionales, como si fueran metálicas, dando pie a diseños más complejos y edificaciones de mayor tamaño (Stamm, 2008).

2.1.3. El bambú en México

Por razones históricas, culturales y económicas en nuestro país el bambú ha sido una planta denigrada y combatida como plaga en zonas de cultivos de café, tabaco y cacao así como a aquellas destinadas a la ganadería. Existe además un enorme vacío de estudios respecto a su cuantía, distribución precisa, propiedades físico-mecánicas y sus aplicaciones en la construcción.

Con la llegada de nuevas técnicas de agricultura y el impulso de productos como el café, plátano y tabaco a mediados del siglo XIX las zonas donde mayormente crecía bambú fueron alteradas. Debido a que el crecimiento de esta planta indica zonas con tierras fértiles para estos productos el bambú fue desplazado y destruido, incluso en algunas zonas casi desapareció por completo. Sin embargo el reciente interés que el cultivo de bambú ha despertado a nivel mundial ha generado algunos buenos proyectos de plantaciones en los estados de Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Jalisco y Sonora (Flores C. 2009).

El uso de bambú en viviendas es una costumbre usada por numerosos pueblos prehispánicos. Los totonacas en Veracruz, los huastecos en Hidalgo y Tamaulipas, los aztecas y teotihuacanos en el centro de México, y los maya-chontales en Tabasco han construido sus viviendas con este material y algunos grupos indígenas lo siguen haciendo actualmente.

Las dos especies de bambú usadas en el México prehispánico fueron el otate y el tarro (*Otatea acuminata* y *Guadua aculeata*). En el código azteca llamado “Matrícula de Tributos” apreciable en el Museo Nacional de Antropología e Historia se observa la representación del otate como un tributo que los pueblos debían pagar al emperador Moctezuma, para su uso en construcción

y elaboración de flechas y otros armamentos. El uso del bambú en asentamientos prehispánicos se puede observar principalmente en Teotihuacán, Mitla, Monte Albán y el Tajín.

En el estado de Chiapas, poblaciones indígenas como los motozintlecos, los tzeltales, los tzotziles, los chujes y los jacaltecos utilizan técnicas de construcción con otate (Figura 2.2). Las diferencias entre las construcciones de cada comunidad radica en los techos que varían respecto a cada clima, las paredes se hacen de bahareque con diversas modalidades y pisos de tierra apisonada.



Figura 2.2 Vivienda tradicional con bambú en México; 1. Vivienda tzeltal, Tenejapa, Chiapas; 2. Vivienda tzotzil, Chamula Chiapas; 3. Viviendas jacaltecas, Chiapas. (Flores C., 2009).

La vivienda de planta redonda que se ve en Guerrero es uno de los rasgos de procedencia africana que han conservado las poblaciones de la zona, e incluso se ha propagado a otras zonas. Esta vivienda de planta redonda cuenta con un techo cónico hecho con un entramado de varas verticales y ramas horizontales, las cuales se cubren con palma.

Los huastecos en San Luis Potosí, los pueblos de la Sierra Norte, Sierra Negra y la Mixteca en Puebla, los chontales de origen maya en Tabasco y Yucatán comparten ciertos rasgos en sus construcciones en cuanto al uso de bambú se refiere (Flores C. 2009).

Sin embargo, la región que más tradición de uso de bambú tiene es Veracruz. Con los pueblos huastecos en municipios como Tantoyuca, Tempoal, Tancoco, Chicontepec y Chontla, donde su estructura característica es el bohío, una choza de planta redonda y techo cónico cubierto con zacate o palma, cerrada en el vértice superior con una olla invertida. Las paredes se construyen con varas de otate en vertical unidas con bejuco las cuales se recubren con barro para mejorar el sello.

2.2. Panorama actual de la arquitectura con bambú

La búsqueda de sistemas constructivos de bajo impacto ambiental así como de materiales sustentables y de rápida recuperación impulsa el desarrollo de investigaciones en muchas instituciones a nivel mundial.

Mientras más conocimiento se tiene sobre un material o método constructivo más fácil es aplicarlo y replicarlo de una región a otra. Este es el caso de la construcción con tallos de bambú. La forma en que el método se ha probado a través de la experiencia e investigación en países de Latinoamérica y Asia, brinda una oportunidad única al resto de áreas del mundo donde se pretende utilizar. Es importante adaptar un método constructivo como este a la región específica donde se ha de implementar, sobre todo si esta no posee una historia de uso del sistema. La incorrecta aplicación de los métodos puede resultar en un producto de mala calidad y por consiguiente una desacreditación del sistema que se está poniendo a prueba.

A continuación se mostrará un breve panorama mundial y nacional del uso de sistemas constructivos con tallos de bambú y guadua. A través de la revisión de las obras de distintos arquitectos y sus obras es posible tener una visión del potencial que encierra este sistema para nuestro país.

2.2.1. Ejemplos a nivel mundial

En la actualidad hay diversos arquitectos e ingenieros que se han dedicado a la construcción con bambú en todo el mundo. Incluso en países europeos donde la planta no crece de forma natural, se generan estructuras de gran tamaño con técnicas importadas de otras regiones. A continuación se presenta un listado de algunos arquitectos, ingenieros y constructores que privilegian sus obras con este material.

Simón Vélez. Sin duda el mayor expositor de la construcción con bambú en Colombia y uno de los principales responsables del impulso mundial de la construcción con bambú. Ha diseñado construcciones con guadua en Alemania, Francia, Estados Unidos, Brasil, México, China, Jamaica, Colombia, Panamá, Ecuador e India. Uno de los grandes descubrimientos de Vélez fue la inyección de mortero en los entrenudos de la guadua formando, en conjunto con tornillos, uniones superiormente resistentes a esfuerzos de tracción perpendicular a las fibras o de corte paralelo a estas (Arias, 2011).

Entre sus obras más significativas se pueden mencionar las siguientes:

Pabellón Zeri: se ubica dentro del Parque del Pensamiento Jaime Restrepo Mejía en Manizales, Colombia. Construido para la ONG Zeri (Zero Emission Research Initiative) en el marco de la Exposición Hannover 2000 y debido a que no existían precedentes legales, científicos, arquitectónicos o de ingeniería se acordó realizar un prototipo escala real en Colombia, previo a su construcción en Alemania y con el fin de realizar pruebas de esfuerzo dirigidas por profesores alemanes. Cabe destacar que el edificio resistió las mismas pruebas de cargas que se realizan a construcciones de concreto.

Iglesia en Pereira: construcción muy liviana donde no interviene ningún material distinto a la guadua en la estructura tipo aporticada cuya forma permite un mejor comportamiento estructural. Construida como refugio temporal mientras se realizaban remodelaciones a la catedral de dicha ciudad que había sufrido daños por un terremoto, esta estructura fue demolida al cumplir su objetivo.

Museo Nómada México: estructura temporal de tres naves de 5,130 metros cuadrados, colocada en la Plaza del Zócalo de la Ciudad de México entre Enero y Mayo de 2009 (Figura

2.3.1). Construida para la instalación de la obra *Ashes and Snow* del artista Gregory Colbert (Cortés 2009)

Puente de Guanezhoua: es considerada la obra más importante de la carrera de Vélez. Fue llevada a cabo en China sobre un río de 38 metros de ancho, para dar acceso a un hotel ecológico hecho de bambú. La estructura es tipo mixta, ya que combina bambú y hormigón, y está formada por una gran viga que da forma a un arco que se apoya en sus extremos en dos grandes pedestales de hormigón armado (Arias et al. 2011).

Oscar Hidalgo. Arquitecto colombiano, responsable del impulso de la investigación del bambú en este país y el resto del mundo. En 1963 siendo docente de la Universidad Nacional de Colombia en Palmira, descubrió gracias a un alumno de agronomía la falta de información técnica y científica referente al bambú. Esto respondía a que esta planta se consideraba en la época como un material para construcciones pobres y no era valioso o pertinente investigarlo. Desde entonces se dedicó a la investigación y recopilación de información útil para trabajar con bambú. Partiendo de la investigación del Dr. Alonzo McClure de 1953, su libro más importante es “Bambú, el Regalo de los Dioses” (Bamboo the Gift of the Gods). Contiene en su primera parte la anatomía y fisiología del bambú, con la colaboración del Dr. Walter Liese. Los demás capítulos se refieren a usos de la planta en distintos campos, desde la antigüedad a construcciones modernas, en distintas ramas de ingeniería y como material estructural, en la fabricación de compuestos, en la rama de la medicina y como material biomédico (Hidalgo L. 2003).

Jörg Stamm. Carpintero alemán radicado en Colombia, que supo mezclar las técnicas de uso de la madera con los tradicionales usos de la guadua colombiana. Stamm fundamenta sus diseños en los puentes atirantados de los indígenas sudamericanos, en las membranas de Otto Frei y en la arquitectura de Frank Gehry (Figura 2.3.4). A través de su experiencia ha logrado aprovechar las características físicas de la guadua y en especial su flexibilidad para lograr tales formas geométricas. Algunas de sus obras más importantes son el puente de Cúcuta en Venezuela; el de la Universidad de Pereira, el de Tierradentro, el de Salvajina y el de Antioquía en Colombia; y el Green School en Bali (Carniol U. 2009).

Shoei Yoh. Arquitecto japonés nacido en la ciudad de Kumamoto, ha tenido una larga carrera con varios reconocimientos y actualmente es profesor de posgrado en la Universidad de Keio. En varias de sus obras ha utilizado el bambú como estructura principal de la obra y en 1989 diseñó una cúpula geodésica. Ha utilizado también técnicas de losas aligeradas con tiras de bambú en varias de sus obras (Burri 2002).

Rocco Yim. Arquitecto chino, líder de la firma con el mismo nombre. En el „festival de la visión“ de 2000 se realizó una conexión artística entre Berlín y Hong Kong. En este marco fue distinguido el pabellón diseñado por el arquitecto Yim, ubicado frente a un lago. El bambú tiene un significado esencial para sus estructuras de mega edificios, así como para las estructuras temporales en los festivales chinos.

David Sands. Director de la firma Bamboo Living, ubicada en Hawái y fundada en 1995. En 2004 fue la primera compañía del mundo en ganar la certificación ICC-ES (International Coaching Community) para bambú estructural. Desde hace 20 años han construido casas prefabricadas en Vietnam para su construcción en Hawái con un sistema modular certificado (Figura 2.3.3).

Vo Trong Nghia. Un nombre muy reconocido en recientes fechas ha sido el de este arquitecto vietnamita, educado en Japón bajo el concepto „avant design“ que lo impulsó a trabajar con el bambú. Una de sus principales y más reconocidas obras es el llamado „Watter and Wind Café“ ubicado en la provincia Binh Duong, en Vietnam. Este año recibió el reconocimiento más alto otorgado por el Consejo Regional de Arquitectos de Asia (ARCASIA) 2014, por su proyecto del Dalai Bamboo Complex de 2012. La obra fue seleccionada entre 276 propuestas y fue galardonada con el Building of the Year Award, uno de los premios más prestigiosos de la arquitectura asiática (Figura 2.3.2).

IBUKU. Firma de arquitectos ubicada en Bali, Indonesia, fue iniciada por Linda Garland y John Hardy. Su proyecto más emblemático es la „Green School“ de Bali, un proyecto de educación comunitaria que actualmente cuenta con 250 estudiantes de 40 países. En el diseño y construcción de las estructuras de la escuela contaron con la participación de Jörg Stamm y Aldo Landwehr (Figura 2.3.5).

William Lim (CL3). Arquitecto chino cuya última creación, el „Teatro de Bambú de Kowloon” diseñado como teatro temporal para 800 personas, requirió de 10 obreros, dos semanas y 10,000 tallos de bambú para completar su estructura principal.

A continuación, la Figura 2.3 presenta imágenes de las obras más significativas de algunos de los arquitectos mencionados en este capítulo.

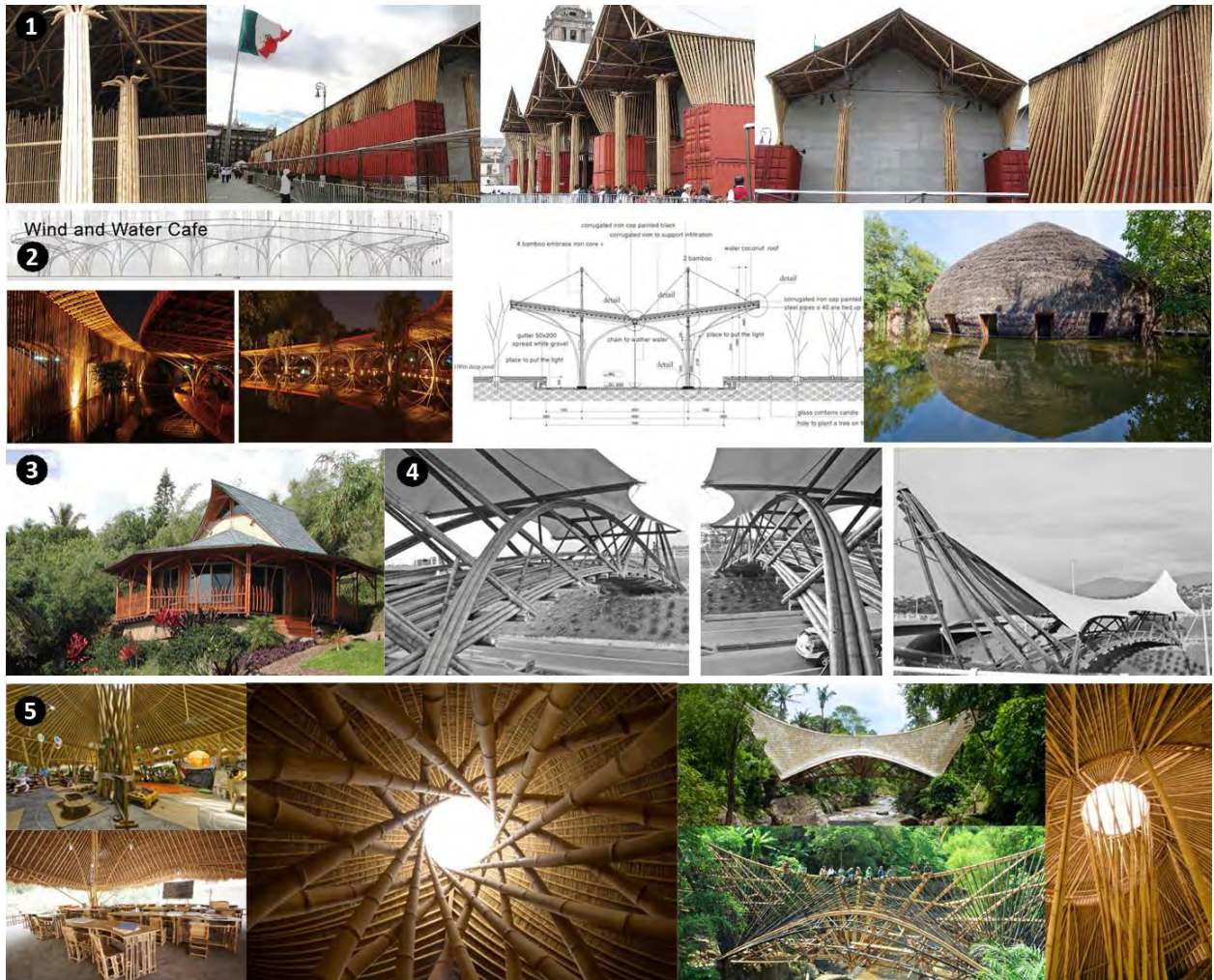


Figura 2.3 Ejemplos nivel mundial. 1. Véléz – Museo Nómada, Cd de México (Cortés, 2009); 2. Nghia – Wind and Water Café, Vietnam (Paudel 2007); 3. Sands – Bamboo living, Hawaii (Paudel 2007); 4. Sttam – Puente Cúcuta, Colombia (Umaña 2010); 5. IBUKU – Green School, Bali (greenschool.org/ agosto 2014).

2.2.2. Contexto nacional

El uso del bambú para la construcción de viviendas en México tiene raíces prehispánicas: los totonacas en Veracruz, los huastecos en Hidalgo y Tamaulipas, los aztecas y teotihuacanos en el centro de México, los mayas-chontales en Tabasco han utilizado este material para sus viviendas y siguen hasta la fecha utilizándolo. Pero han sido solo los grupos indígenas los que han mantenido estas tradiciones vivas. Actualmente debido al trabajo realizado en países como Colombia e Indonesia el bambú y particularmente algunas especies de guadua, se presentan como materiales muy aptos para la construcción y podrían sustituir a la madera en prácticamente cualquiera de sus usos (Cedeño V. & Irigoyen C. 2011).

México se ha adentrado poco a poco en el uso de este material para la construcción de edificaciones. Esfuerzos en distintos rubros y de parte de diversas organizaciones han generado una difusión de las técnicas para su empleo entre arquitectos, diseñadores industriales, ingenieros y productores. Hasta ahora el futuro del bambú en México se enfoca a la fabricación de papel, para lo cual importantes empresas han invertido en su cultivo. Sin embargo ya se han sentado las condiciones requeridas para que arquitectos e ingenieros experimenten en sus construcciones con el bambú. A continuación, con el fin de dar un panorama actualizado de la construcción, producción e investigación del bambú en nuestro país, se presenta un breve listado de empresas, arquitectos, investigadores y productores dedicados al bambú en distintos estados de México.

2.2.2.1. Organizaciones

Congreso Mexicano del Bambú: Evento de carácter internacional que reunió especialistas de todo el mundo y ha sido organizado por representantes del INBAR (organismo internacional que promociona el uso del bambú y el ratán). En su primera versión realizada en el 2005 en la ciudad de Xalapa, contó con la participación del Arq. Jorge Morán, Arq. Simón Veles, Ing. Ximena Londoño, Ing. Francisco Castaño, Dra. Lynn Clark, entre otros, y por parte de México la del Biol. Gilberto Cortés, presidente de la Asociación Mexicana del Bambú (AMEB). La segunda versión realizada en 2008 en la ciudad de Puebla contó además con el apoyo del Gobierno del

Estado de Puebla y la Fundación Produce Puebla. Este tipo de eventos sirven para difundir las acciones que se están llevando a cabo en el país.

Bambumex.org: es un sitio no comercial dedicado a la difusión de información respecto al bambú, así como empresas dedicadas a su empleo e investigación. Cuanta con afiliación a organizaciones como American Bamboo Society (ABS), International Network for Bamboo and Ratan (INBAR), Sociedad Latinoamericana de Botánica, Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos SNIT, World Bamboo Organization (WBO), Bambú de las Américas (BOTA), Grupo Bambuotatea de México, Consejo Veracruzano del Bambú.

Cooperativa Tosepan Titataniske: en la Sierra Nororiental del estado de Puebla se creó en 1977 esta cooperativa que comprende 290 comunidades en 22 municipios, con el fin de „encontrar una solución a la carencia de productos básicos“. Actualmente impulsa el cultivo del bambú como una estrategia para fortalecer la economía campesina a través de la diversificación productiva, el desarrollo de programas de cafecultura orgánica, el turismo sustentable y la agroforestería, además del uso del bambú experimentando y evaluando diferentes sistemas constructivos, eco tecnologías, artesanías, muebles, reproducción en vivero y un centro de transformación para material de construcción (Cedeño V. & Irigoyen C. 2011).

Un estudio reciente, muestra un notable incremento de las plantaciones de bambú por los grupos indígenas de estas zonas, ya sea como parte de sus plantaciones de café, cerco vivo o como exclusivos bambusales. Los apoyos e información aportadas por esta cooperativa ha generado que el 52.2% de los productores sembrara bambú para su venta, mientras que el 30.4% lo tiene para su uso en la construcción (Pérez G. et al. 2009).

Bambúes y Forestales de México A.C.: es una „Asociación Civil sin fines de lucro, que pretende difundir y promover el cultivo, uso y transformación del bambú y otras especies forestales como una alternativa sustentable de desarrollo rural y de apoyo al medio ambiente“. A través de propuestas y proyectos concretos, reuniones y foros nacionales e internacionales, cursos de capacitación, etc., esta asociación pretende impulsar la creación y desarrollo de la cadena productiva de bambú en México (<http://www.bambuesyforestales.org> Agosto 2014).

Todo Bambú: Grupo de artesanos y productores de bambú del pueblo Monte Blanco ubicado en la región centro del estado de Veracruz. Desde hace 40 años se han desarrollado técnicas

de fabricación de muebles y actualmente se considera el principal centro artesanal de bambú en nuestro país.

2.2.2.2. Empresas productoras

Bambuver: fue fundada en 1989 por el productor veracruzano Rafael Guillaumín Fentanes, es una empresa apoyada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) y uno de los centros de desarrollo del bambú más importantes del país (Cedeño V. & Irigoyen C. 2011). Ubicada en Huatusco, Veracruz, esta asociación civil tiene con parte de sus propósitos el establecer un Programa de Desarrollo Integral del Bambú en México.

Cuentan con un área aproximada de 350 hectáreas de bambusal con una producción destinada a usos de artesanía, construcción y paneles laminados para diversos usos. Así mismo esta empresa a través de su director, han impulsado el desarrollo del Centro de Desarrollo Tecnológico del Bambú, con el apoyo de organismos nacionales e internacionales. De concretarse este proyecto sería el cuarto del mundo en su tipo, después de China, India y Cuba.

Agromod S.A. de C.V.: empresa ubicada en Villahermosa, Tabasco, que por más de 10 años ha establecido bosques de bambú (*Guadua angustifolia Kunth*) en el estado de Chiapas. Su producción se enfoca a abastecer estacones para empresas agrícolas y frutícolas de todo el país. Sin embargo ya se ha adentrado al sector de la construcción con expansión de sus plantaciones, siendo este programa “el más ambicioso existente en México de este tipo de bambú” (agromod.com.mx agosto 2014).

Grupo Pulsar: con una plantación de 20mil hectáreas en el estado de Chiapas para la producción de mil toneladas de bambú, enfocada a la producción de celulosa para la fabricación de papel (Cedeño e Irigoyen 2011).

Bambu Sinaloa: bajo la dirección de José Oscar Padilla esta empresa se dedica a fomentar y organizar acciones en beneficio de personas y organizaciones interesadas en el bambú en el estado de Sinaloa. Bajo asociación con productores y empresarios apoyan la creación de viveros de producción certificados, plantaciones estratégicas situadas aledañas a la ciudad o valles. En conjunto con el Jardín Botánico Culiacán ofrecen cursos dirigidos a todo aquel que

desea iniciar el aprovechamiento del bambú en Sinaloa (<http://botanicoculiacan.org> Agosto 2014).

Bambumich: Sociedad Productora Rural fundada en 2010 bajo la dirección de la Lic. Itzi A. Ortega Martínez. Actualmente acaba de contar con el apoyo estatal para comenzar con plantaciones masivas en el estado de Michoacán y con la construcción del centro BAMBUMICH S.P.R. en Tacámbaro, Michoacán para difundir y organizar la producción y el uso del bambú en el estado.

Bambuxal: Sociedad Cooperativa bajo la dirección de Fernando Partida Pinto. Formada en Guadalajara, Jalisco y dedicada a la venta de planta de bambú, asesoramientos en cultivo, tallos preservados y construcción de edificaciones con bambú.

2.2.2.3. Arquitectura

OJTAT: taller de arquitectura ubicado en Cholula, Puebla. Bajo la dirección del Arq. Ricardo Leyva Cervantes referente en nuestro país de la construcción con bambú. Este despacho incorpora tecnologías, materiales y estrategias en sus diseños, orientadas a lograr espacios saludables para sus habitantes al mismo tiempo que aporten una respuesta positiva a la mitigación y al cambio climático. Otorgando servicios arquitectónicos para vivienda, edificios públicos, centros ecoturísticos, estructuras ligeras o diseño de muebles. (ojtat.org Agosto 2014)

Entre sus obras más importantes se pueden mencionar las siguientes:

Tosepankali: 2001, conjunto de 9 cabañas con un total de 275m², fue la primera obra de arquitectura formal en Cuetzalan. Sus formas evocan cuestiones artísticas y naturales de la zona.

Auditorio Flor del Bosque: 2005, primera obra formal de bambú en Puebla. Cuenta con cafetería, baños y zona de exposición desarrollados en 320m². Su estructura se compone de bambú *Guadua aculeata* y *Old hamii*, muros y cubierta se resolvieron en ferrocemento (Figura 2.4.1).

Centro de Innovación Tecnológica de la Vainilla: 2009, edificio destinado a la investigación y venta de vainilla y sus subproductos. Se ubica a las afueras de Ayotoxco, Puebla y cuenta con módulo de servicios sanitarios, oficinas administrativas, exposición y punto de ventas en una superficie de 250m².

Sendero Interpretativo Bosque de Bambú: 2012 proyecto de incorporación integral del bambú en el corazón de la mancha urbana de Puebla. Contiene 22 especies distintas que pueden crecer dentro de Puebla. El puente peatonal permite un recorrido aéreo a través de las partes apicales del bambú con una vista panorámica de todo el bosque (Figura 2.4.1).

Manat: empresa comercializadora de materiales naturales de primera calidad para la construcción. Ubicados en la ciudad de Querétaro y bajo la dirección de Juan Pablo Payró Escobar la empresa también construye estructuras ligeras de bambú y materiales renovables (<http://www.manat.com.mx> Agosto 2014).

Bambupue A.C.: despacho bajo la dirección del Arq. Armando Rodríguez López y que en conjunto con la Universidad Politécnica de Amozoc han construido módulos demostrativos de viviendas ecológicas en Villa de Río, municipio de San Sebastián Tlacotepec en la Sierra Negra de Puebla. Sus resultados han sido la capacitación de pobladores de la sierra en técnicas constructivas con bambú y solicitudes de plantaciones por más de 10 hectáreas en la zona (<http://estoes.sabersinfin.com/?p=842> Agosto 2014) (Figura 2.4.3).

KALTIA: despacho de arquitectura ubicado en la Ciudad de México, que provee servicios de ingeniería, consultoría y desarrollo de proyectos que buscan „mejorar la construcción enfocándose en los cuatro principios de la sustentabilidad: social, cultural, económico y tecnológico“. Así mismo la empresa apoya investigaciones referentes a materiales reciclados y sistemas constructivos modulares, en alianza con Instituto de Ecología A.C., la UAM-Azcapotzalco y la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca (kaltia.com.mx Agosto 2014).

Bambuterra: empresa de diseño y arquitectura fundada en 2013 en la Ciudad de México, bajo la dirección de la Arq. Luisa Fernanda Correa Giraldo. Los servicios que ofrecen son distribución y venta de bambú *Guadua angustifolia*, diseño y fabricación de mobiliario y accesorios de bambú y capacitaciones teórico prácticas sobre bioconstrucción con materiales como el bambú. (bambuterra.com.mx Agosto 2014) (Figura 2.4.4).

A continuación en la Figura 2.4 se presentan imágenes de algunas obras de ciertos arquitectos mencionados en este capítulo.



Figura 2.4. Contexto Nacional. 1. OJTAT – Auditorio Flor del Bosque y Sendero del Bambú, Cd. de Puebla (ojtat.org agosto 2014); 2. Cooperativa Tosepan – Tosepankali, Cuetzalan (ojtat.org agosto 2014); 3. Bambupue – Vivienda Popular Rural, Amozoc (bambumex.org agosto 2014); 4. Bambuterra – Palapa Miravalle Iztapalapa y Casa Quechultenango, Guerrero (bambuterra.com.mx agosto 2014).

2.2.2.4 Investigación

Es muy necesario el impulso en este sector de la investigación, ya que se ha demostrado un creciente interés de los arquitectos mexicanos en el empleo de este material para la construcción. Las condiciones adecuadas ya existen para la experimentación con construcciones de bambú en México, solo falta la voluntad y decisión para hacerlo (Cedeño & Irigoyen 2011).

Las investigaciones en México sobre el empleo del bambú en la construcción aún son pocas. Las Universidad Nacional Autónoma de México (Ciudad de México), el Instituto Nacional de Ecología (Xalapa, Ver.), La Universidad Autónoma Metropolitana (Ciudad de México), el Instituto Tecnológico de Chetumal, la Universidad Iberoamericana (Ciudad de México), la Universidad Autónoma Benito Juárez (Oaxaca), la Universidad Autónoma de Chiapas, la Universidad Veracruzana campus Xalapa, así como otras instituciones privadas de investigación, han impulsado en los últimos años el desarrollo tecnológico del bambú y sus aplicaciones en México.

En 2009 con el impulso para la creación del Centro de Desarrollo Tecnológico del Bambú en Huatusco, Veracruz, y la propuesta de instaurar la Escuela Mexicana del Bambú en 2005, se han sentado las bases para el trabajo e investigación requeridos en nuestro país. Sin embargo, muchos de estos esfuerzos no han sido continuados, como el Congreso Mexicano del Bambú, que desde 2008 no se ha vuelto a realizar.

El Instituto Nacional de Ecología en Xalapa, Veracruz, ha dedicado estudios a la clasificación botánica y taxonómica de las especies mexicanas, así como al estudio de sus propiedades de resistencia estructural a tensión y compresión. En el Departamento de Productos Forestales y Conservación de Bosques, se caracterizan distintas especies de bambú mexicano con el fin de adaptar la Norma NSR-10 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, que incluye en su título G los lineamientos de construcción para estructuras de madera y guadua. Conociendo las propiedades mecánicas de las guaduas mexicanas se podrán dar lineamientos de diseño estructural las edificaciones que las utilicen.

Es de destacar el trabajo que se ha realizado con la Colección Nacional de Bambúes Nativos de México, dentro del jardín botánico Francisco Javier Clavijero que contiene la mejor colección de bambúes mexicanos recolectados de los estados de Chiapas, Guerrero, Michoacán, Oaxaca y Veracruz. Bajo la dirección de la Dra. Ma. Teresa Mejía Saulés esta colección se inició en 2005 buscando exhibir todas las especies mexicanas, generar el conocimiento para su manejo sostenible así como su conservación.

Con base en la reseña de arquitectos, ingenieros, investigadores, productores y empresarios dedicados al bambú en México, se demuestra que en los últimos años se ha ampliado en gran medida el interés del sector de la construcción en México por emplear materiales alternativos, sustentables y de rápida recuperación. Es cierto que aún faltan bases importantes para lograr el

despegue que este sistema podría tener en nuestro país, pero los esfuerzos son múltiples y tangibles. Una creciente demanda debe llevar de la mano un incremento en la oferta para lograr ser satisfecha.

Una de las principales carencias con que se encuentran los diseñadores y constructores, es la falta de normatividad y regulaciones específicas para las estructuras con bambú. Actualmente estas entran en los reglamentos constructivos como estructuras ligeras y las oficinas de obras públicas no solicitan cálculos estructurales para ese tipo de edificaciones. El realizar construcciones de guadua sin normativa o reglamentación, puede resultar en edificios vulnerables e incluso condenarlos al colapso si no se evalúa correctamente su diseño.

Otra problemática reside en la falta de disponibilidad del material y la mano de obra calificada para implementar estos sistemas constructivos. Por un variado número de razones en nuestro país se fue perdiendo la tradición de realizar viviendas con bambú, lo que en ciertas regiones dificulta aún más la llegada de estos sistemas y la aceptación por parte de la población de esas zonas. Actualmente en México se tiene poca inversión en plantaciones destinadas a generar material para la construcción, con la calidad y tratamiento correcto que debe realizarse al cosecharse y el control necesario para hacer de la plantación un sistema sustentable. La mayor inversión de plantaciones se ha hecho con capital extranjero y su único fin es el de procesar el material para extraer la celulosa e ingresarlo al proceso de fabricación de papel. Más cada año las plantaciones o bambusales destinados a la obtención de material para la construcción van en aumento, y lo que es aún mejor se emplean especies nativas en lugar de las especies importadas de Colombia o la India.

Poco a poco la aceptación de estos sistemas constructivos alternativos y de bajo impacto ambiental tomará mayor fuerza en la medida en que se compruebe su eficiencia y la calidad que pueden alcanzar de realizarse correctamente. Para alcanzar esto es básico el impulso de la investigación de estos sistemas en muchos rubros tales como: seguridad estructural, con adaptaciones de normas colombianas a especies nativas de México; aspectos bioclimáticos y de impacto ambiental de las plantaciones dedicadas a proveer material para la construcción; rendimientos termofísicos de las envolventes, con datos del comportamiento de estos sistemas en climas de mayor oscilación térmica que los tropicales; tratamiento y mantenimiento de bajo impacto ambiental, con mejores técnicas de inmunización de los tallos para garantizar estructuras más perennes sin afectar los entornos ecológicos donde se ubiquen las

plantaciones; así como en muchas otras áreas de oportunidad donde esta planta puede ser empleada en nuestro país.

2.3 Descripción arquitectónica de los principales sistemas constructivos basados en bambú

La construcción con bambú tiene tradición histórica en varios países de Sudamérica y Asia. En los lugares donde no ha existido esta tradición o se ha perdido por razones diversas, la tecnología ha sido importada y adaptada a las condiciones locales. A continuación se presenta una síntesis de los principales sistemas constructivos basados en bambú y que pueden ser aplicados, con ciertas limitantes, en muchos sitios y climas del mundo. Algunos de estos sistemas han servido de base para otros que al adaptarse a nuevos sitios tienen mejorías en resistencia, capacidad de carga y durabilidad.

Algunas reglas básicas de la construcción con bambú son: utilizar siempre tallos maduros de mínimo 3 años de edad, con medidas apropiadas en largo y espesor de pared, así como utilizar juntas correctas. Se debe evitar el aplastamiento del tallo colocando en lo posible los nudos cerca de la zona de presión en elementos horizontales. De no ser posible lo anterior se debe reforzar el interior del internodo con un tacón de madera o rellenarlo con mortero (Hidalgo 2003).

La siguiente descripción de sistemas incluye tipos de cortes, conexiones, cimentaciones, sistemas constructivos de muros tipo quinchá, bahareque tradicional, muro embutido, muro tensionado, muro japonés. La elección de estos sistemas mostrados se basa en el libro *Bamboo The Gift of the Gods* de Oscar Hidalgo, capítulo 6 (Tecnologías de Construcción con bambú) y para las representaciones de los sistemas se realizaron modelos tridimensionales que exponen de forma clara los componentes de dichos sistemas y los pasos en que se arman algunos de ellos.

El presente capítulo no pretende ser un manual de construcción con bambú, sino una introducción a las posibilidades que dan estos sistemas así como una antesala a la definición de los sistemas evaluados en la presente investigación.

2.3.1 Conexiones

Las conexiones que se realizan en los sistemas basados en bambú se pueden clasificar por el tipo de unión: bambú-bambú, bambú-acero o bambú-concreto; y por el acomodo de esta: en dos planos o en un plano (Leyva C. & López M. 2014).

La Figura 2.5 muestra a continuación los cinco tipos de corte más usados. Los dos primeros se emplean principalmente en construcciones mixtas bambú-madera ya que facilitan la compatibilidad con piezas regulares como vigas o tablas de madera. Los tres restantes constituyen los cortes básicos para generar las conexiones estructurales.

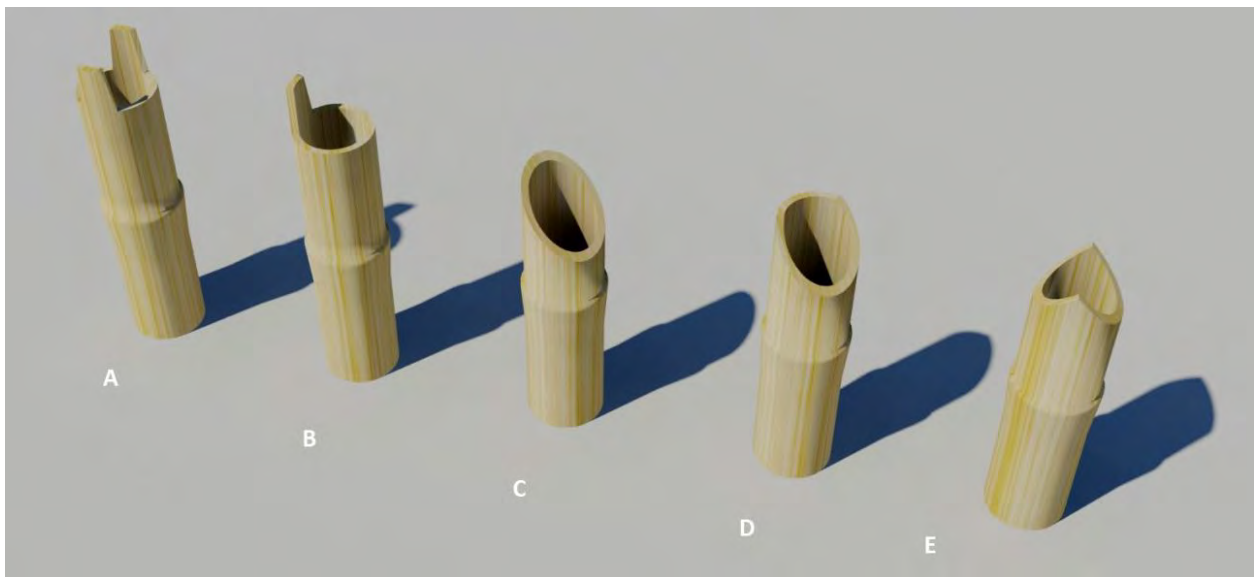


Figura 2.5 Cortes más utilizados: A. con dos orejas; B. con una oreja; C. biselado; D. pico de flauta; E. boca de pescado. (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003).

Las conexiones más comunes que se utilizan para elementos estructurales en un plano en bambú son la „boca de pescado” y el „pico de flauta”. La primera es utilizada para conexiones a 90° (Figura 2.6) y la segunda se utiliza para unir piezas a cualquier otro ángulo (Figura 2.7). Su unión debe realizarse con el cuidado de que ambas piezas encajen lo mejor posible para distribuir la fuerza en la mayor área posible de contacto. Su fijación en ambos casos se realiza con barras de acero roscada, tuercas y rondanas planas. A continuación se muestra la manera de colocar estas uniones y su correcta fijación.

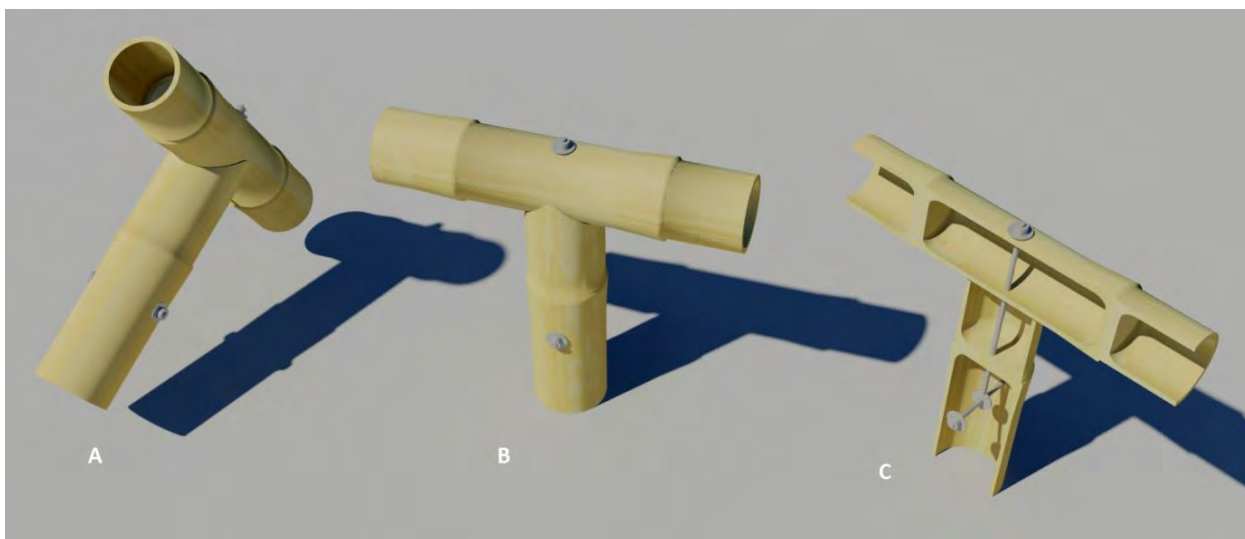


Figura 2.6 Conexión boca de pescado: A. perspectiva; B. frente; C. corte transversal con detalle de unión. (Elaborado por el autor basado en Leyva 2014)

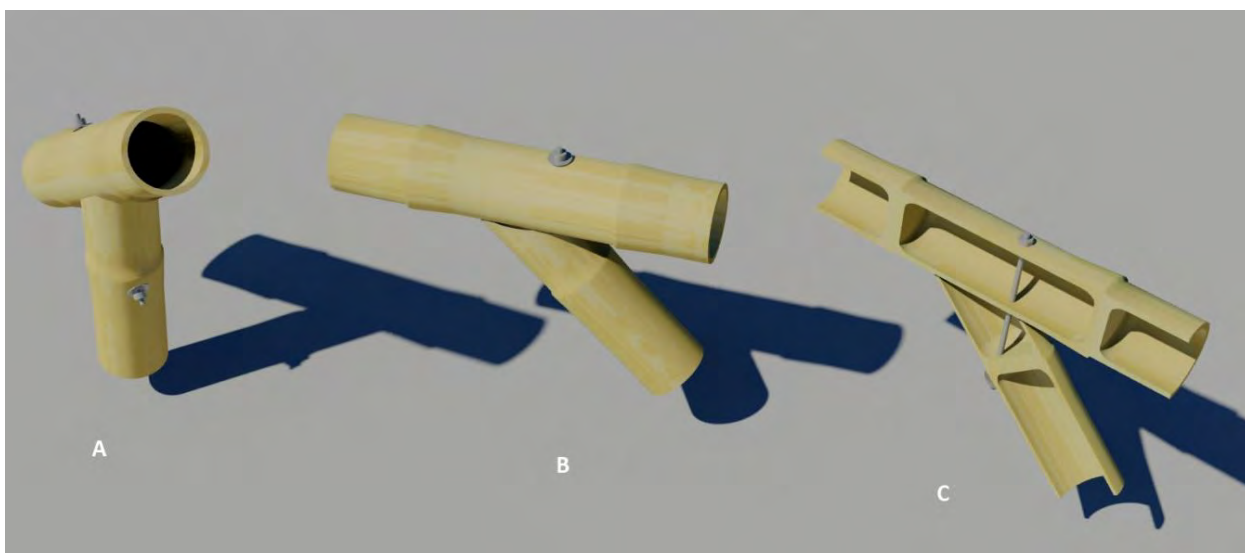


Figura 2.7 Conexión pico de flauta: A. perspectiva; B. frente; C. corte transversal con detalle de unión. (Elaborado por el autor basado en Leyva 2014).

2.3.2 Cimentaciones.

Una de las consideraciones más importantes para cualquier estructura de bambú es el aislar la cimentación de la constante humedad presente en los suelos. El bambú debido a su anatomía no se ve afectado por el agua en gran medida si se le permite secarse, de guardar humedad

constante la pieza afectada terminará por llegar al pudrimiento. En la Figura 2.8, a continuación se presentan diferentes soluciones para evitar esta humedad constante aislando la estructura.

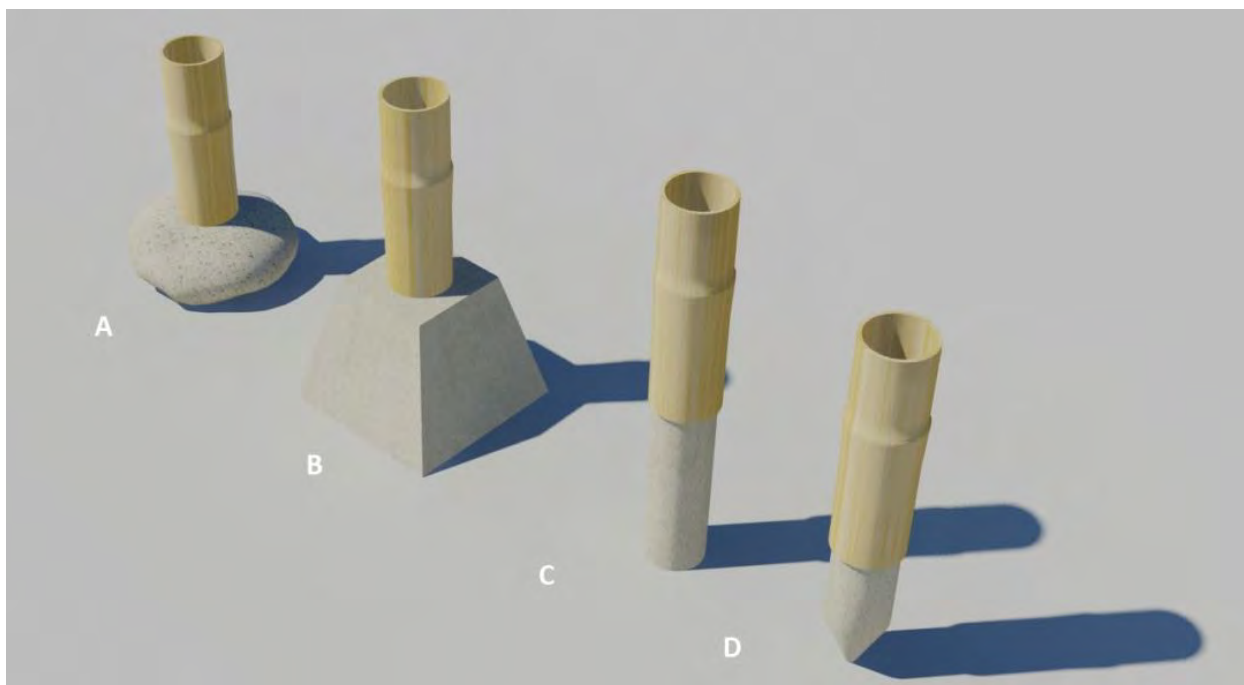


Figura 2.8. Tipos de cimentaciones: A. sobre piedra; B. base colada en sitio; C. extensión colada tubular en bambú; D. extensión colada con botella en bambú. (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003).

2.3.3 Muros de bambú

2.3.3.1 Quincha (Perú)

Es el sistema tradicional de construcción en Perú. Con este sistema se logran muros delgados y resistentes que dejan a la vista los marcos de bambú estructurales, dando a la edificación un aspecto agradable. Oscar Hidalgo presenta dos sistemas básicos de este sistema, presentados en las Figuras 2.9 y 2.10 a continuación. El primer método tiene tiras de bambú entretejidas en sentido vertical entre postes colocados horizontalmente a distancias promedio de 50 y 70cms. El segundo método tiene la variante de tejer las tiras en sentido horizontal entre soportes verticales. En ambos casos se deben usar tiras de bambúes de 2 a 3 años, lo suficientemente flexibles para realizar el entretejido sin que se quiebren las tiras (Ordoñez, Mejía & Bárcenas 2012).

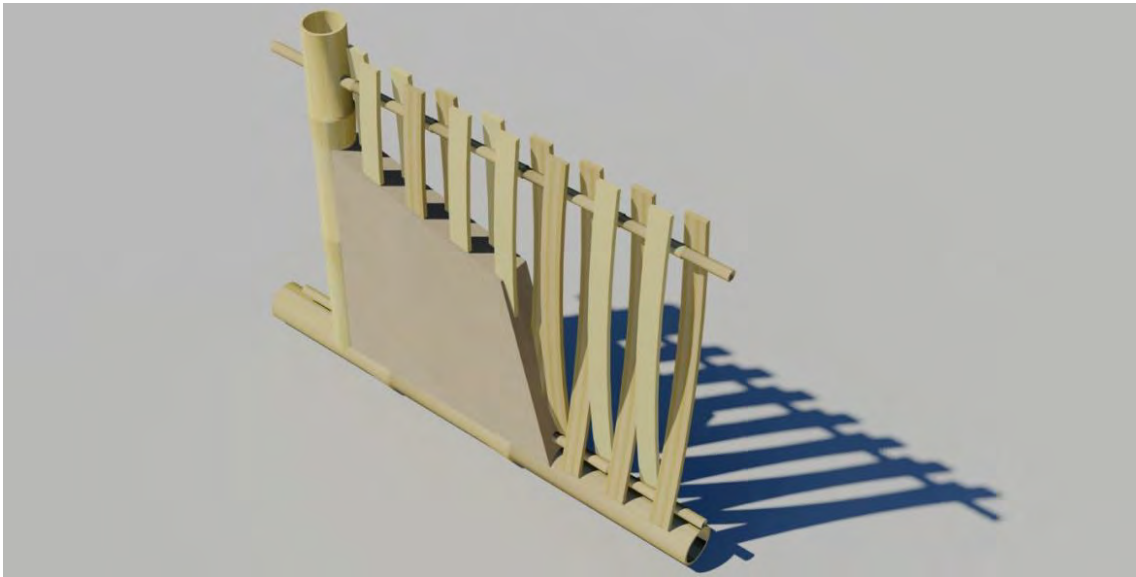


Figura 2.9. Sistema Quincha con tiras verticales. (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003).

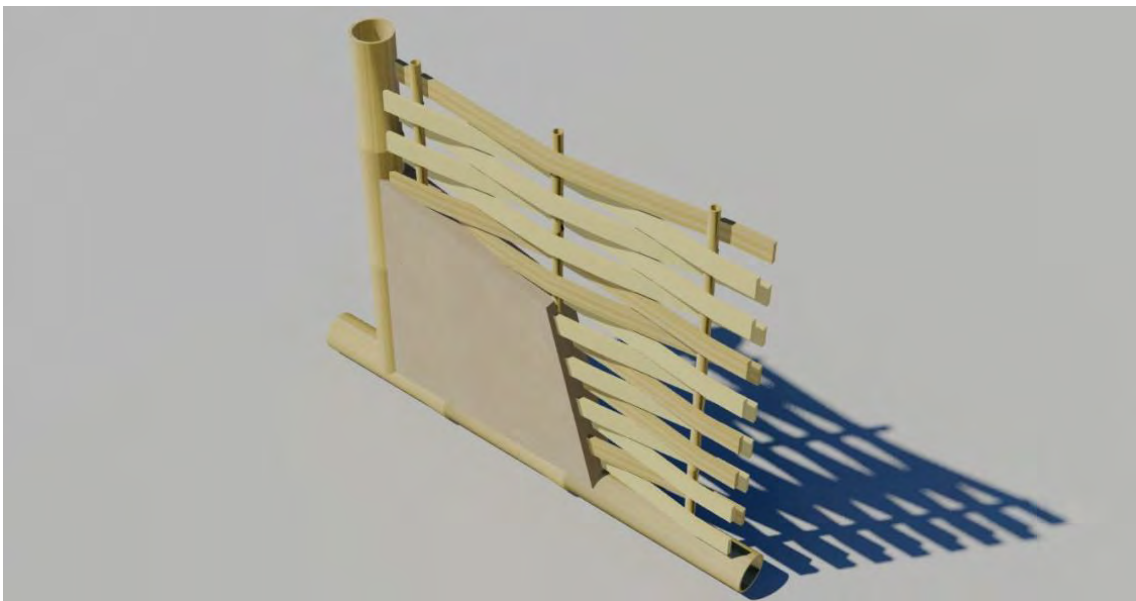


Figura 2.10. Sistema Quincha con tiras horizontales. (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003).

2.3.3.2 Muro embutido con barro (Colombia)

En este sistema (Figura 2.11), el entramado de tiras de bambú se realiza en sentido horizontal fijándolas a una distancia promedio de 7-8cms sobre los postes verticales separados a cada 40 o 50cms. El interior de esta jaula es relleno con una mezcla de barro y paja. El tiempo de secado es cercano a un mes, después de este tiempo el muro es repellado en capas de cemento y barro. Es un sistema muy pesado y generalmente se utiliza en las construcciones de muros de planta baja, para la segunda planta se usará un sistema más ligero (Hidalgo 2003).

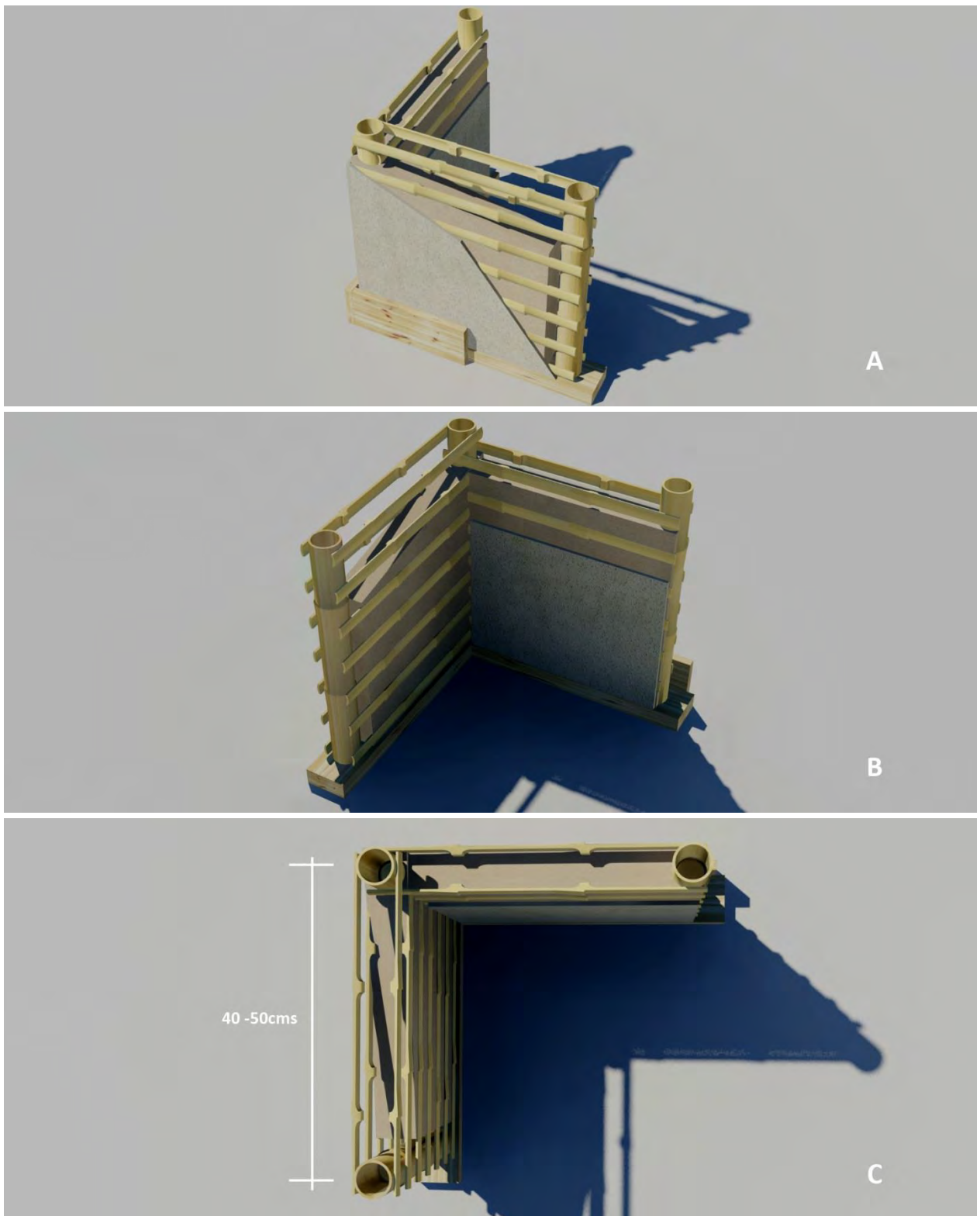


Figura 2.11. Sistema embutido: A. y B. perspectiva; C. planta (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003).

2.3.3.3 Bahareque con doble panel (Colombia)

Es el sistema de más tradición en Colombia. Consiste en una serie de postes de bambú con una separación promedio de 30 a 40cms, fijados en su base a una pieza de madera o bambú y recubiertos en ambas caras con paneles de esterilla, con el lado liso al interior. Estos últimos son fijados con tornillos a los postes verticales y generalmente se coloca un alambre galvanizado que le dará rigidez al panel y soporte al repellado de mortero (Figuras 2.12 y 2.13). Es un sistema ligero, sismo resistente y de rápida construcción (Hidalgo 2003).



Figura 2.12. Sistema bahareque doble panel perspectiva (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003).

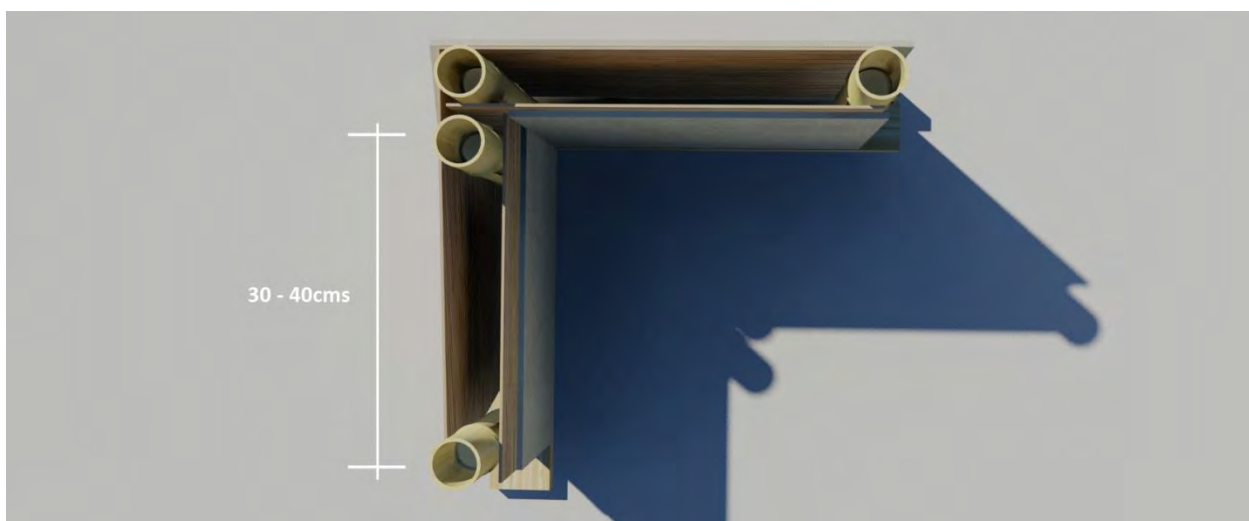


Figura 2.13. Sistema bahareque doble panel en planta (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003).

2.3.3.4 Muro tensionado (India – Colombia)

Este tipo de muro consiste en un marco de bambú con postes a una separación promedio de 1.20m sobre los cuales se coloca alambre de púas en separación de 20 a 22cms en sentido horizontal o diagonales. Sobre este entramado de alambre se coloca una pieza de yute a tensión amarrada con alambre galvanizado. A esta se le coloca en dos capas un repellado de mortero en diferentes días para permitir su secado correcto (Figura 2.14). Se recomienda que se utilice yute o alguna fibra vegetal evitando las fibras sintéticas. Esta tecnología fue desarrollada en India, pero en 1983 en la escuela de Arquitectura de la Universidad del Valle de Calí, Colombia, se mejoró al punto que ahora es uno de los métodos más usados en la construcción de muros en este país (Hidalgo 2003).

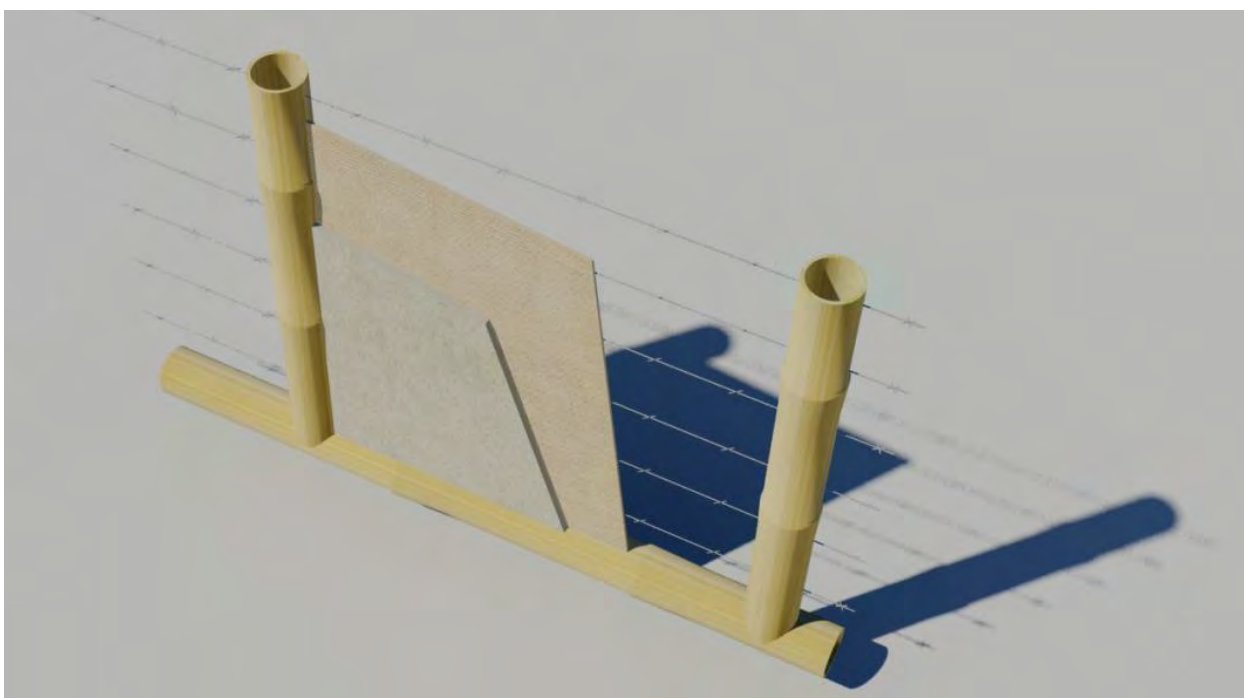


Figura 2.14. Sistema muro tensionado perspectiva (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003).

2.3.3.5 Muro japonés.

Este sistema basa su estructura en un marco de madera al cual se le coloca una serie de entramados de bambú para posteriormente recibir capas de mortero o barro. El primero de estos entramados se fija al marco de madera por perforaciones realizadas a cada 30 cms donde entran bambúes delgados como soportes principales (Figura 2.15). Posteriormente se coloca un entramado de tiras de bambú con poca separación en ambos sentidos y amarradas al

entramado principal (Figura 2.16). Teniendo fija la base de tiras de bambú se realizan en 3 o 4 capas el repellado, como se muestra en la figura 2.17, y que puede ser mortero o barro dependiendo el sistema que se emplea (Hidalgo 2003). La pertinencia de mostrar este sistema diferente a los demás es debido a que esta base de generar marcos de madera con entramados de bambú propicia la construcción en serie de viviendas y la prefabricación de paneles que al montarlos en sitio mejora el tiempo de obra y eficiente uso de recursos.

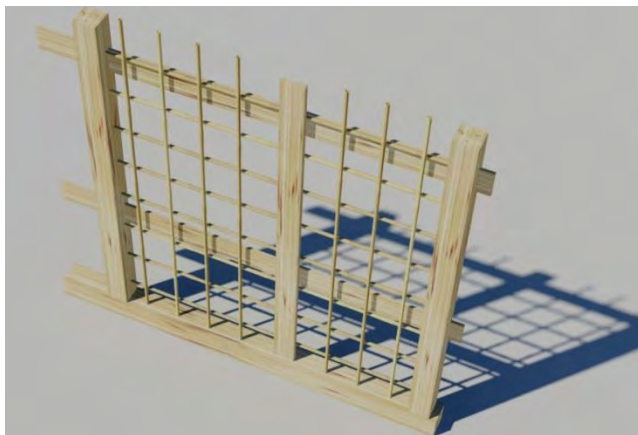


Figura 2.15. Muro japonés primer etapa (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003).

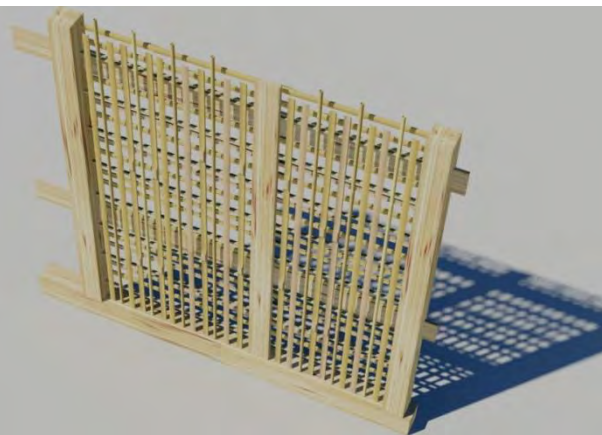


Figura 2.16. Muro japonés segunda etapa (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003).

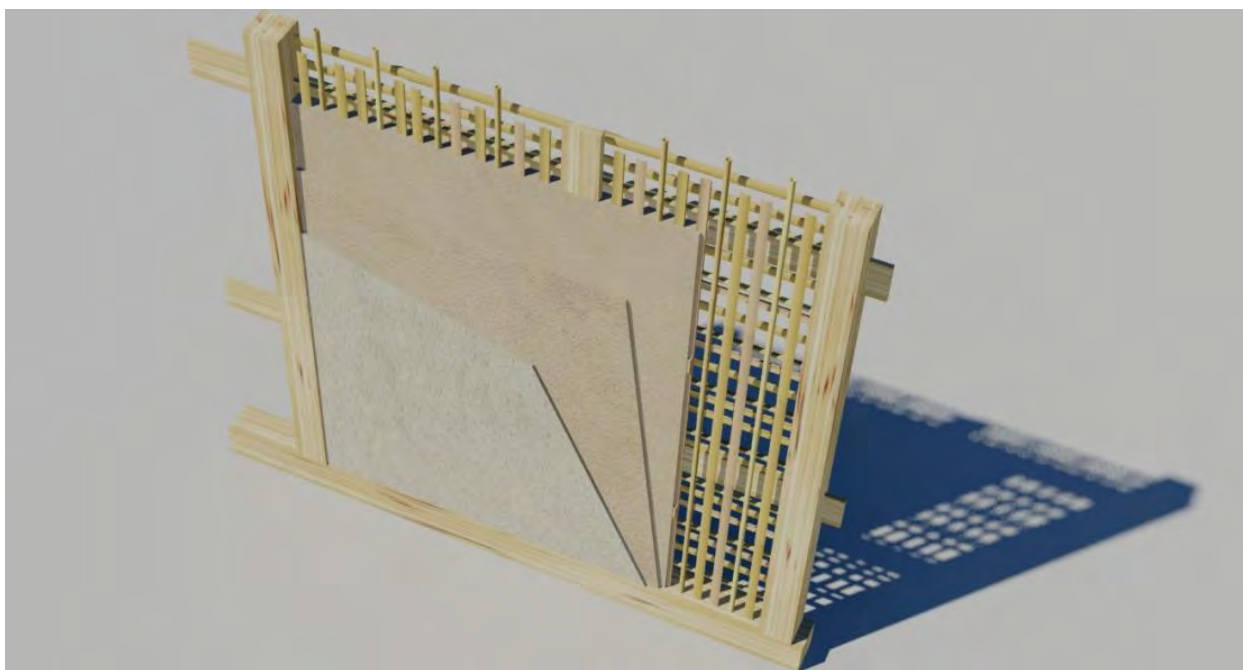


Figura 2.17. Muro japonés etapa final (Elaborado por el autor basado en Hidalgo 2003).

CAPITULO 3

CARACTERIZACIÓN TÉRMICA

- 3. Propiedades termofísicas
 - 3.1 Situación actual del análisis térmico de estructuras realizadas con sistemas constructivos de bambú
 - 3.2 Marco de referencia
 - 3.3 Metodología experimental
 - 3.4 Elección de los sistemas que serán sometidos a prueba de laboratorio
 - 3.5 Conductímetro térmico para muestras de gran formato
 - 3.6 Procedimiento y resultado de pruebas conductividad y conductancia térmica.
 - 3.7 Procedimiento y resultados de pruebas calor específico.
 - 3.8 Pruebas de termografía a muestras
 - 3.9 Resumen de resultados obtenidos

3. Caracterización Térmica

3.1. Situación actual del análisis térmico de estructuras realizadas con sistemas constructivos de bambú

Datos técnicos sobre el bambú, proporcionados por laboratorios y universidades en Latinoamérica, Asia y Europa son cada año más accesibles al público que los busca. La principal rama de estudios en que los investigadores se han centrado ha sido el comportamiento estructural y la capacidad de carga que distintas especies de bambú poseen. Principalmente basados en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, desarrollado por la AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Civil) y su capítulo G (Estructuras de madera y guadua), se pueden generar códigos y recomendaciones de construcción locales para las distintas zonas en que se está desarrollando la arquitectura con bambú, considerando las propiedades particulares del bambú o guadua empleados (Leyva C. & López M. 2014).

El estudio de las propiedades térmicas de los sistemas constructivos basados en bambú ha tenido poco auge en la investigación. Esto puede deberse a que dichos sistemas se han desarrollado principalmente en climas cuya oscilación térmica es baja y los cambios climáticos no son extremos. Las soluciones bioclimáticas a los edificios en estos climas no son tan considerables y las soluciones de climatización al interior dependen más de agentes como ventilación y control de humedad.

Sin embargo al exportarse esta tecnología a climas con mayor oscilación térmica, es necesario conocer el sistema que se utiliza para lograr proyecciones y simulaciones de su comportamiento antes de ser ejecutada la obra, con el fin de hacer correcciones al diseño en la etapa proyectual.

Un estudio presentado en el congreso Construcción con Tierra CT5 (Evans M. et al. 2012) presenta una evaluación del desempeño térmico de una vivienda construida con quincha cerca de Bogotá, Colombia, bajo un clima ecuatorial de altura, con temperaturas que varían de fría a confortable y una limitada variación entre distintos meses del año. Los resultados indican un comportamiento térmico favorable, comparable con otras construcciones convencionales.

La construcción con tierra ofrece interesantes características térmicas para una gran gama de condiciones climáticas, siempre que se adopten los espesores adecuados de los elementos

constructivos. El sistema de quincha, también bahareque o pajareque, logra características sismo-resistentes por dos condiciones básicas: incorpora una estructura interior de bambú o madera, y reduce el espesor y peso de los muros. Sin embargo a menor espesor de estos se presenta la desventaja de aumentar su transmitancia térmica y disminuir el retraso térmico. El típico muro quincha de 10 a 15cm de espesor logra una transmitancia térmica similar a una pared de ladrillo macizo de 300mm con revoque o una pared de adobe de 250mm, adecuada para muchos climas pero con limitada resistencia al paso de calor en climas fríos. Su limitada inercia térmica produce un retraso térmico de solo 3 horas.

Seis medidores tipo HOBO ubicados en techo, piso y centro de habitación registraron los datos en un periodo de tiempo, que al final fue reducido a un periodo estable de 10 días con temperaturas similares y así se obtuvieron los valores promedio para cada periodo de 15 minutos. El proceso de acondicionamiento natural que proporciona la casa de quincha logra un aumento de la temperatura interior de 3 a 4 grados, con limitadas ganancias internas y reducidas ganancias solares. El control de la variación de diaria de temperatura es muy bueno, con valores entre los 1 y 2 grados, demostrando que la construcción liviana de quincha es apta. Sin embargo sus condiciones aislantes principalmente en techos, al ser mejoradas por simulación mejoran los niveles de confort al interior (Evans M. et al. 2012).

3.2. Marco de referencia

3.2.1. Conceptos básicos de termodinámica y transferencia de calor

El flujo de calor en los edificios se lleva a cabo por cuatro fenómenos principales: conducción, convección, radiación y evaporación (o condensación). La conducción es el paso del calor a través de un material por transferencia desde las moléculas más calientes hacia las más frías en contacto unas con otras. Por convección, el calor es transferido con el flujo de moléculas de un lugar a otro con una variación en su temperatura. La radiación es la transferencia de calor a través del espacio por ondas electromagnéticas. La evaporación y condensación involucran un cambio de estado (de líquido a gas o viceversa), en este proceso se gana o se pierde calor (Givoni B. 1976).

El calor puede cambiar el modo en que se transfiere durante el proceso de flujo. De esta forma es que la energía solar que alcanza un muro en forma de radiación es absorbida en la cara externa y fluye a través del material del muro por conducción. Si el muro contiene un espacio de aire, el calor fluye a través de este por convección y radiación, continúa su paso por conducción y es finalmente transferido al aire interior por convección y al resto de las superficies por radiación.

Las propiedades de los materiales que afectan el índice de transferencia de calor hacia adentro o hacia afuera de un edificio y por lo tanto las condiciones térmicas interiores y el confort de los ocupantes son: conductividad térmica, resistencia y transmitancia; absorptividad, reflectividad y emisividad; coeficiente de convección superficial; capacidad térmica; y transparencia a la radiación en distintas longitudes de onda (Givoni B. 1976).

En este punto es pertinente definir los alcances de la caracterización térmica que tuvo lugar en este trabajo. La caracterización térmica de un material comprende el estudio de distintas propiedades de este en relación a su comportamiento frente a la temperatura. Todas las propiedades enumeradas con anterioridad son objeto de estudio de dicha caracterización. Sin embargo el determinar cada propiedad conlleva métodos y herramientas especializadas que se ajustan al tipo de material que se analiza. Por los recursos disponibles para la realización de esta investigación la caracterización térmica de las muestras se basó en la medición de conductancia térmica, calor específico y densidad, así como el cálculo de otras propiedades que serán descritas más adelante dentro de este documento.

En este capítulo nos enfocaremos a las propiedades físicas de conductividad térmica, resistencia y conductancia de los materiales. Debido a que estos parámetros son los obtenidos por la medición con el aparato de placa caliente guardada, herramienta principal de esta investigación. El coeficiente de conductividad térmica es la cantidad de calor que pasa en una unidad de tiempo a través de una unidad de área de una muestra de extensión finita y caras plano-paralelas y de cierto espesor, cuando se establece una diferencia de temperatura entre sus caras de un grado. Su símbolo es λ y se expresa en las unidades $\text{kcal/m h } ^\circ\text{C}$ ($\text{W/m } ^\circ\text{C}$). La conductividad térmica es una propiedad característica de cada material y su valor puede depender de la temperatura y de una serie de factores tales como la densidad, porosidad, contenido de humedad, diámetro de fibra, tamaño de los poros y tipo de gas que encierre el material.

Al dar este valor para un material elegido, se deben tomar en cuenta las siguientes condicionantes. Cuando el material no es isotrópico se necesita indicar la dirección de propagación del flujo calorífico; por ejemplo, para una muestra de madera hay que indicar si λ se refiere a la dirección normal de la fibra o paralela a ella. Cuando el material está constituido por una sustancia porosa o similar, con poros y espacios libres relativamente pequeños y distribuidos en la masa del material de un modo prácticamente uniforme (sustancias microscópicamente homogéneas) λ toma el significado de un coeficiente de conductividad de una sustancia ficticia „equivalente” para las mismas temperaturas de la sustancia en examen. Si, por otro lado, estos materiales son permeables al aire (particularmente el caso de los materiales granulares, filamentosos, etc.) las diferencias de temperatura provocan movimientos convectivos que dependen de las características geométricas y puede llegar a no ser despreciable su influencia en la propagación del calor.

Para los materiales susceptibles de absorber agua, o los materiales higroscópicos, es necesario distinguir si estos se encuentran en estado seco, o de lo contrario en qué estado de humedad se encuentran. La propagación del calor puede modificar la distribución de la humedad por efecto de los fenómenos de difusión interna acompañados de evaporaciones y condensaciones. Debido a los movimientos de la humedad dentro de los materiales, los ensayos experimentales requieren que los elementos a estudio estén secos, y cuando estos no lo están suficientemente darán resultados erróneos (NBE-CT-79, 1979)

El inverso de la conductividad térmica ($1/k$ o $1/\lambda$) es la resistividad térmica de un material. Tanto la conductividad como la resistividad son independientes del tamaño o espesor de los elementos constructivos. Sin embargo, el flujo de calor a través de un elemento dado de un edificio (muro o techo) depende no solo de la conductividad térmica del material, sino también del espesor (d) del elemento. Más espesor significará menor tasa de flujo de calor. Por lo tanto la resistencia térmica (r) de un elemento será definida por: $r = d/\lambda$

La conductancia térmica es la cantidad de calor transmitida a través de la unidad de área de una muestra de material o de una estructura de espesor d , dividida por la diferencia de temperatura entre las caras caliente y fría, en condiciones estacionarias ($C = \lambda/d$). Su símbolo es C y sus unidades $W/m^2 \text{ } ^\circ C$.

En este tipo de pruebas se considera que las temperaturas en cada lado del material y la distribución de temperatura a lo largo del material son uniformes y constantes a través del tiempo. A esto se le llama condiciones en estado permanente (Givoni B. 1976).

3.2.2 Coeficientes necesarios para realizar una simulación térmica

Bajo un correcto diseño bioclimático se pueden minimizar o incluso anular los requerimientos de energía externa para el acondicionamiento higrotérmico y de calidad del aire en el interior de una edificación. Uno de los componentes fundamentales para el diseño bioclimático es la selección de materiales para los elementos de la envolvente arquitectónica (pisos, muros y techos), con propiedades físicas adecuadas a cada clima. Debido a que en los países donde más se ha estudiado el efecto de los materiales en la envolvente presentan climas con baja oscilación térmica diaria, comparada con la diferencia entre la temperatura externa y la que se quiere obtener dentro del espacio, así como poca variación en las ganancias térmicas solares, los métodos para evaluar dichos materiales se realizan en condiciones similares a las de un estado estacionario. Sin embargo, en países como México el principal reto de acondicionamiento pasivo lo presentan climas cuya radiación solar es significativa y la oscilación de la temperatura diaria es importante, así como climas cálido húmedos y fríos de muy bajas temperaturas en invierno, condiciones donde los métodos basados en un análisis de la transferencia de calor en estado estacionario no son aplicables. A pesar de todo esto, las normas vigentes en México para análisis de la eficiencia energética como la NOM-008-ENER-2001, están basadas en análisis de transferencia de calor en estado estacionario (Huelsz G., Barrios G., Rechtman R., Rojas J., 2007).

Utilizando solo estos criterios se puede llegar a hacer una equivocada selección de materiales para una envolvente en un clima específico. Caracterizar térmicamente un sistema constructivo y saber utilizar sus coeficientes en cálculos y simulaciones dependientes del tiempo resultará en una mejor selección de materiales y una mayor eficiencia energética del edificio diseñado.

Para la realización de simulaciones numéricas existen muchos parámetros que deben tomarse en cuenta y que solo se relacionan a las propiedades físicas del sistema constructivo. En el presente trabajo y durante las etapas de experimentación, se midieron tres de dichas propiedades: conductancia térmica, calor específico y densidad; y se calcularon otras como

resistencia, difusividad y efusividad térmica, coeficiente global de conductividad térmica y retardo térmico. Con los valores de estas propiedades, y a través de una herramienta numérica especializada para tal fin (como lo es Ener-Habitat), es posible realizar evaluaciones rápidas de sistemas constructivos en climas específicos y disponer de más herramientas al elegir un sistema constructivo en la etapa proyectual de un edificio.

3.3 Metodología experimental

La norma ASTM C518 „Método de prueba estándar para propiedades de transmisión térmica en condiciones de estado permanente por medio del aparato de medición de flujo de calor” fue la base que se tomó para la realización del conductímetro en los laboratorios de la UAM-A.

El aparato de medición de flujo de calor es ampliamente usado debido a que es relativamente simple en concepto, rápido y aplicable a un gran rango de muestras para pruebas. La precisión y sesgo que provee este aparato dependerán en gran medida de la calidad con que se realice su calibración. Es recomendable que esta se haga con un material similar, de conductancia, espesor, temperatura media y gradientes similares a los esperados por el espécimen de prueba. Debido a que este es un método secundario o comparativo de medición, las muestras de propiedades térmicas conocidas que se usen como calibración deben, de preferencia, ser de resultados rastreables y respaldados por un laboratorio de medidas certificadas.

El aparato establece condiciones de estado permanente unidireccional a través de una muestra espécimen colocado entre dos platos paralelos a constantes pero distintas temperaturas. La ecuación de Fourier es utilizada para calcular la conductividad térmica y la resistividad térmica, o la resistencia y conductancia térmicas.

Este método de pruebas es aplicable para mediciones de transmisión térmica a un gran rango de propiedades de especímenes y condiciones de uso. Ha sido aplicado para mediciones con temperatura ambiente de 10 a 40°C con espesores superiores a 250mm, y con temperaturas de plato desde -195°C hasta 540°C a 25mm de espesor. Bajo este método se pueden caracterizar materiales que pueden o no ser muestras representativas de las condiciones reales de aplicación. Para coincidir con los requerimientos de este método las muestras a probar deben

ser superiores a $0.10 \text{ m}^2\text{K/W}$ en la dirección del flujo de calor y las pérdidas por bordes deben ser controladas, utilizando aislamiento perimetral.

El uso de un aparato como este en muestras que presentan puentes térmicos puede resultar en datos muy poco confiables. Si el puente térmico se presenta en paralelo al flujo de calor los resultados obtenidos bien podrían ser descartados.

Determinar la exactitud de éste método dependerá del diseño del aparato, la instrumentación utilizada, y el tipo de muestras que se evalúen, pero el rango alcanzable para determinar las propiedades de transmisión térmica puede ser de $\pm 2\%$ cuando la temperatura ambiente es cercana a la temperatura media de la muestra y en un rango de 10 a 40°C . En todos los casos la precisión del aparato nunca será mejor que el método estándar primario de medición con el que se calibre (ASTM C518, 2004).

3.4 Elección de los sistemas constructivos sometidos a pruebas de laboratorio

Los sistemas constructivos cuya base es el bambú como estructura o refuerzo de la envolvente son muy variados como se ha visto en el capítulo 2, y sus aplicaciones van cambiando respecto a la región y a la especie de bambú que se tenga más disponible. Para el presente estudio se eligieron cuatro tipos de arreglos. La elección de estos sistemas responde a que son empleados en nuestro país, con materiales regionales y especies de bambú nativas. Estos sistemas son los siguientes:

- Bahareque de pared única. (Estructura portante de bambú y capa única de barro).
- Bahareque de doble pared. (Estructura portante de bambú y capa doble de barro).
- Bahareque encementado. (Estructura portante de bambú, latas y revoque de cemento).
- Bahareque embutido. (Estructura portante de bambú, latas, embutido de pajareque y revoque).

Las muestras que se utilizaron para evaluar estos sistemas fueron realizadas por dos empresas privadas dedicadas a la arquitectura con bambú. Es pertinente aquí extender un agradecimiento especial a los despachos OJTAT de Puebla bajo la dirección del Arq. Ricardo Leyva Cervantes y al despacho KALTIA del Distrito Federal bajo la dirección de la Ing. Verónica María Correa

Giraldo, por el apoyo y facilitación de las muestras aquí presentadas así como asesoramiento continuo a lo largo de toda la investigación.

La fabricación de las muestras espécimen de los sistemas a evaluar fue realizada por los despachos bajo sus propios métodos constructivos, fijación de los soportes, proporciones en mezclas de barro, pajareque y cemento. Esto se debió a la decisión de que las muestras fueran lo más semejantes al sistema constructivo en sus condiciones de uso, aproximándose a una extracción de un metro cuadrado de una edificación real y de esta forma los coeficientes obtenidos de las muestras puedan ser aplicados a las edificaciones diseñadas con estos sistemas. Dos sistemas base de soporte fueron utilizados para las cuatro muestras, uno con la estructura portante completamente realizada en bambú y el segundo con tablas de madera en base y corona con guaduas fijadas a ambas piezas de madera. A continuación la figura 3.1 muestra el armado de estas estructuras. Posteriormente se presentan una serie de fotografías de las muestras ya armadas en los laboratorios de bioclimática de CyAD y de Energía Solar de CBI (Figuras 3.2 a 3.6), donde fueron realizadas las pruebas experimentales.

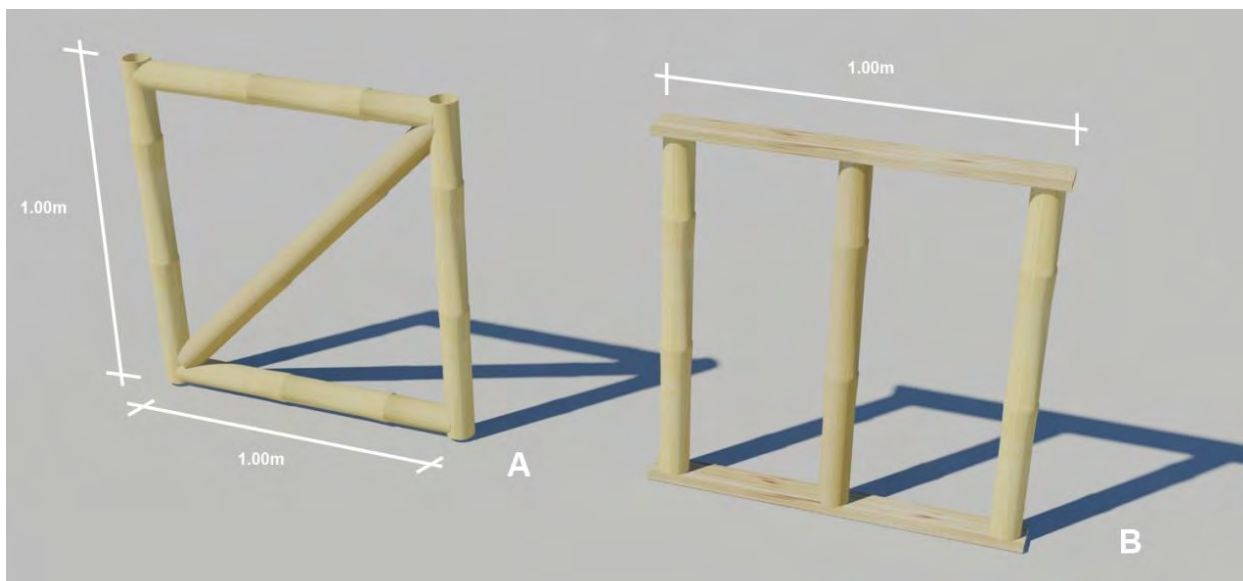


Figura 3.1. Estructuras portantes de muestras; a. marco entero de bambú con conexiones talladas, b. marco con tablas de madera en base y corona. (Elaboración propia)

En estos dos tipos de marcos estructurales se formaron las muestras sometidas a evaluación, con variantes propias de cada sistema. A continuación se presentan las muestras reales con descripción del sistema utilizado.

3.4.1 Bahareque de pared única



Figura 3.2. Muestra a medir sistema constructivo bahareque pared única; frente, revés y detalles. (Elaboración propia).

Este sistema del despacho OJTAT de Puebla, se monta en el primer tipo de armado expuesto anteriormente y consta de una serie de latas de bambú fijas a la estructura portante a una separación de 5 cms para dar rigidez a una capa sólida de barro. Su espesor promedio es de 10 centímetros.

3.4.2 Bahareque doble pared



Figura 3.3. Muestra a medir sistema constructivo bahareque pared doble; frente, costado y detalles. (Elaboración propia).

Este sistema también desarrollado por OJTAT de Puebla se monta en un marco de bambú completo pero a diferencia del primero las latas de bambú son fijadas sobre la estructura y no dentro de esta. Lo que genera soporte para dos capas independientes de barro de aproximadamente 5cm de espesor con una resultante cama de aire central separando ambas capas. Su espesor promedio es de 15 centímetros.

3.4.3 Bahareque encementado



Figura 3.4. Muestra a medir sistema constructivo bahareque encementado; frente, costado y detalles. (Elaboración propia).

El tercer sistema sometido a prueba desarrollado por el despacho KALTIA, se sustenta en el segundo tipo de arreglo portante. En ambas caras del marco una cama de latas de bambú es fijada a las guaduas poste. Una malla de acero es fijada y posteriormente se realiza el revoque de cemento a todo el sistema. Su espesor promedio es de 15 centímetros. Es de notar que en este sistema el centro queda hueco por el armado lo que le da la propiedad de ser más ligero que los otros sistemas y su construcción no requiere de tanto tiempo de espera en el secado de los muros.

3.4.4 Bahareque embutido



Figura 3.5. Muestra a medir sistema constructivo bahareque embutido; estructura, construcción, frente y costado. (Elaboración propia).

El cuarto sistema también desarrollado por KALTIA se fija a un marco de las mismas características del anterior sistema. Por igual utiliza latas de bambú atornilladas a los postes de

guadua con la variante de su separación entre ellas. En este caso se dejan separaciones del espesor suficiente para introducir manualmente una mezcla de barro y paja, comúnmente conocido como pajareque. Al secarse esta mezcla, aproximadamente cuatro semanas después de construida la muestra, se realiza un revoque de un pahareque estabilizado con cal como aplanado. Su espesor promedio es de 16cms.

3.4.5 Masa y densidad de las muestras

Todas las muestras anteriormente expuestas fueron pesadas en el laboratorio de construcción como primer paso antes de llevarlas a medición térmica en el laboratorio de EneGía Solar. Se agradece la atención y asesoría del personal del laboratorio de construcción bajo el mando del Dr. Francisco González Díaz de CBI.

Los resultados de la medición de masa y densidad de las muestras son presentados a continuación, así como un registro fotográfico de las mediciones.

Bahareque de pared única.

Peso de la muestra: 72.50 kg
Volumen calculado: 0.1020 m³
Densidad: 710.784 kg/m³

Bahareque de doble pared.

Peso de la muestra: 85.50 kg
Volumen calculado: 0.1530 m³
Densidad: 558.823 kg/m³

Bahareque encementado.

Peso de la muestra: 84.90 kg
Volumen calculado: 0.1590 m³
Densidad: 533.962 kg/m³

Bahareque embutido.

Peso de la muestra: 108.20 kg
Volumen calculado: 0.1560 m³
Densidad: 693.058 kg/m³



Figura 3.6. Pesado de las muestras en el Laboratorio de Construcción. (Elaboración propia).

3.5 Conductímetro térmico para muestras de gran formato.

3.5.1 Definición del aparato y metodología base.

Según el método de la norma ASTM C 518-04, en el que se basó la fabricación de este equipo, un aparato de medición de flujo de calor consiste en dos placas isotérmicas, uno o más transductores de flujo de calor y equipo para el control de condiciones ambientales en caso de requerirse. La Figura 3.7 muestra los tres principales acomodos de las muestras para medición. El primero con una muestra y un transductor, el segundo con dos muestras y un transductor y el tercero con una muestra y dos transductores.

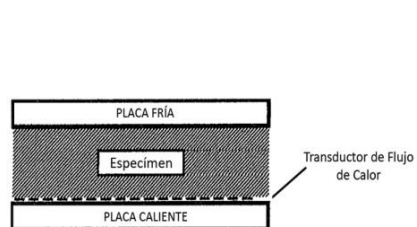


FIG. 1 Aparato con un transductor y un espécimen

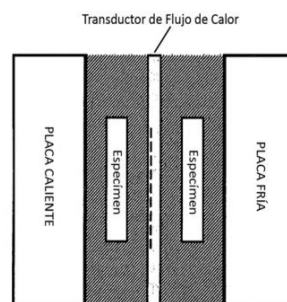


FIG. 2 Aparato con un transductor y dos especímenes

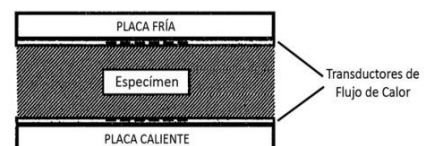


FIG. 3 Aparato con dos transductores y un espécimen

Figura 3.7. Principales acomodos del aparato medidor de flujo de calor bajo el sistema de placa caliente guardada. (ASTM C518, 2004 traducido por el autor).

Para la fabricación del equipo en los laboratorios de la UAM-A se eligió el primer arreglo de los descritos anteriormente, debido a la factibilidad de su construcción e instrumentación disponible.

3.5.2 Diseño y construcción del aparato

La construcción de un medidor de flujo de calor bajo las especificaciones dadas en la norma ASTM C 518-04, es posible con la cantidad adecuada de tiempo y recursos. Para este estudio ciertos ajustes se llevaron a cabo con el fin de alcanzar el objetivo trazado para la investigación, ajustando los tiempos, instrumentos de medición y recursos disponibles para ello.

3.5.2.1 Estructura Base

Como primera parte en la construcción del equipo se realizó en los talleres de la UAM-A una tarima de soporte para proveer de estructura a todo el aparato. Esta tarima se armó con barrotes de pino de segunda, tipo cimbra, de 2 ½" x 1 ½" con uniones estructurales tipo solapo en cruz de canto, que evita el uso de tornillos dando mejor estructura a la pieza. Con unas dimensiones finales de 1.27 x 1.27 m esta tarima se diseñó con cuatro barrotes en un sentido y dos en el contrario para soportar de mejor forma el peso completo del aparato considerando las muestras a colocar.

Como sistema para movilidad del aparato en conjunto se fijó una estructura de perfil tubular cuadrado de 1" con rodamientos de polipropileno soldados en sus cuatro vértices inferiores. Cada rueda soporta un peso de 60kg. Considerando el peso del aparato más las posibles muestras a evaluar se consideró suficiente soporte para movilidad dentro del laboratorio.

3.5.2.2 Placa Caliente

Un cajón armado con barrotes de 3" x 1 ½" y fondo de tablero de novopan de 6mm se fijó sobre la estructura de soporte. Sus dimensiones internas son de 1.00 x 1.00m. Sobre el fondo de tablero de novopan se sujetaron, con tornillos de 1 ½" de longitud, seis guías de perfil tubular cuadrado calibre 14. Colocando dos perfiles juntos en los extremos para formar una base de 2"

de espesor y los otros dos dispuestos en medidas proporcionales dentro del claro restante, aproximadamente a 31cm de separación medida a ejes. Como una capa aislante, en los espacios sobrantes entre las guías se colocó una manta de fibra cerámica de 25mm de espesor, con una densidad de 128 kg/m³ y resistente a temperaturas máximas de 1350°C.

Sobre este armado de guías se colocó una lámina lisa de aluminio con acabado semi-pulido calibre 20. Por medio de remaches pop se fijó a las guías metálicas, sujetando así la manta aislante de fibra cerámica. Por medio de este armado se aseguró que las pérdidas de calor hacia abajo del aparato fueran las mínimas posibles, evitando gastos extras de energía y tiempo en las mediciones.

Utilizando esta lámina de aluminio como base se procedió a ubicar la resistencia eléctrica compuesta de un hilo calibre 8 en espiral con 6.00m de longitud y una potencia de 2300 W. La decisión de colocar una resistencia de tal potencia vino del asesoramiento de un fabricante de resistencias y al tipo de muestras que se colocarán en el equipo. Esta resistencia es la pieza central de la placa caliente, ya que proporciona el calor necesario para las mediciones. En los diseños iniciales se consideró encapsular esta resistencia en una cama de concreto de 8cm con el propósito de que el calor generado se distribuyera de forma uniforme en la capa superficial de la plancha. Entre las desventajas que presentaba este diseño se encontraban: la alta dificultad de recuperar la resistencia en caso de requerirlo, para reemplazo o reparación; el trabajo que a nivel molecular la capa de concreto se vería sujeta, podría en un número desconocido de encendidos de la resistencia llegar a provocar fisuras en la placa caliente, dañando permanentemente su operación debido a los puentes térmicos creados. Debido a esto se optó por seguir un diseño en que la resistencia estuviera libre y calentara un elemento esbelto de un material con alta conductividad y capaz de soportar el peso de las muestras espécimen.

Los apoyos colocados para la resistencia consisten en piezas semicirculares obtenidas del corte de un aislador de porcelana tipo columna para transformador, también conocido como buje de transformador. La porcelana fue elegida como medio para sujetar la resistencia debido a que resiste temperaturas entre 1200 hasta 1400°C. La sujeción de estas piezas de porcelana se realizó con pegamento epóxico de dos componentes resistente a temperaturas extremas. Su colocación sobre la lámina de aluminio es proporcional para la que la distribución de calor en la placa sea lo más uniforme posible. Se separan 8cm de los bordes perimetrales y permiten que la resistencia se ubique a 14cm de separación entre filamentos.

Debido al movimiento generado por la dilatación de la resistencia al encenderla, la posibilidad de un corto circuito al tocar la lámina de aluminio era elevada. Como medida preventiva se colocaron tiras de placa rígida de papel de mica y resina de silicona debajo de la resistencia hacia la lámina de aluminio. Compuesta en un 90% de muscovita, mineral del grupo de los silicatos, cuyo rango de temperaturas es de 550 a 800°C, esta mica presenta características de aislante eléctrico sin alterar significativamente la transferencia térmica. La siguiente imagen (Figura 3.8) muestra las partes y los pasos de construcción de la placa caliente descritos en estos párrafos.

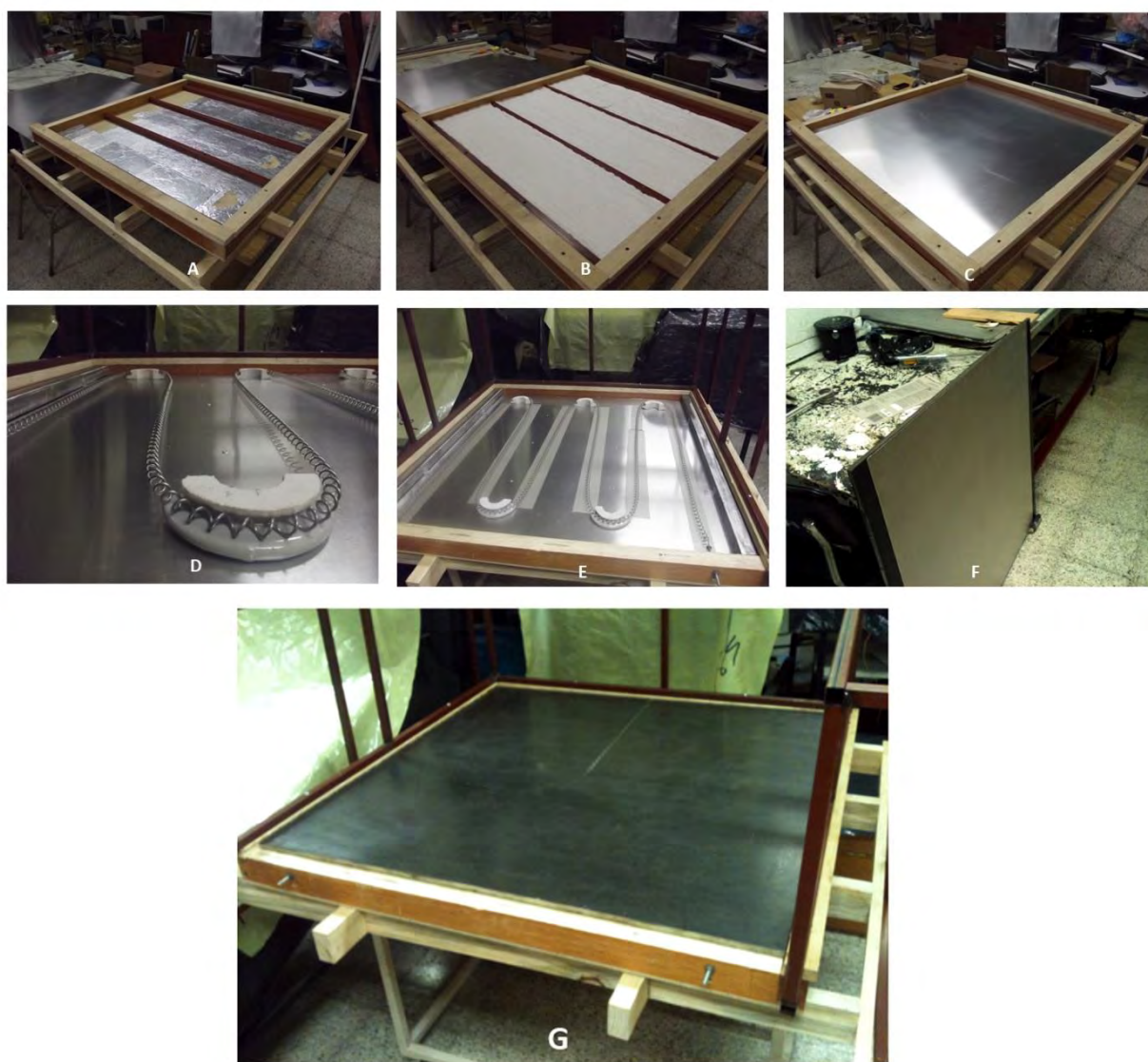


Figura 3.8. Construcción de placa caliente: a. base de soporte; b. aislante térmico; c. lámina de aluminio; d. resistencia eléctrica; e. aislante muscovita; f. placa de acero; g. montaje completo. (Elaboración propia).

Como pieza final de la placa caliente se colocó una placa de acero de 1.00m x 1.00m y 1.27cm (1/2") de espesor sobre la resistencia eléctrica. Ubicada sobre los soportes de perfil de calibre estructural, la placa se suspende a una distancia promedio de 1.8cm de la parte superior de la resistencia. Del mismo modo para evitar un posible corto circuito se pegó con adhesivo epoxico una lámina de mica térmica de muscovita que cubre toda la superficie expuesta de la placa hacia la resistencia. En la cara superior, expuesta a la muestra a evaluar, se realizó una ranura de 3mm de espesor promedio y 51cm de longitud, con el fin de albergar el termopar controlador de la activación de la resistencia. Este termopar es independiente de los equipos utilizados para medir el flujo de calor en la muestra espécimen.

3.5.2.3 Controlador de Activación.

Al diseño de la resistencia se le incorporó una caja de madera que fue ensamblada para contener y proteger los dispositivos electrónicos de control. Dentro de esta caja (mostrada en la Figura 3.9) se alberga de forma segura la bobina con su relevador, un pirómetro digital controlador de temperatura, una lámpara LED y un interruptor.

El encendido de la lámpara LED al frente de la caja controlador es para reconocer cuando el equipo se encuentra conectado a la corriente. Para encender la resistencia se debe activar el interruptor, lo que automáticamente encenderá la pantalla del pirómetro digital. En esta se presenta la temperatura que envía el termopar ubicado en la parte superior de la placa caliente. Con los botones ubicados al frente de la pantalla del pirómetro se puede ajustar la temperatura de alarma.

Al determinar la temperatura que se quiere alcanzar con la placa caliente, el pirómetro enviara señales automáticas de encendido y apagado al relevador de la bobina hasta que se alcance la temperatura programada. Al acercarse por unos grados a la marca de alarma el encendido y apagado se hace en intervalos menores para no exceder la temperatura deseada. Cada que ocurre este intervalo de encendido, la lámpara de LED se apaga para indicar que la resistencia está trabajando, con este sistema se puede medir el tiempo en que estuvo activa la bobina si así se desea.

Todas las conexiones eléctricas de la bobina a la resistencia y a la alimentación eléctrica se hicieron con terminales tipo arillo soldadas con estaño para asegurar una correcta fijación y evitar cortocircuitos. Los cables que conectan la resistencia a la bobina son calibre 8 con 65cm de longitud, distancia más corta operable para evitar caída de tensión o sobrecalentamiento del cable visible.



Figura 3.9. Controlador de activación: a. vista exterior caja; b. vista interior caja; c. prueba funcionamiento; d. ubicación en el aparato; e. conexión a resistencia; f. conexiones tipo arillo. (Elaboración propia).

3.5.2.4 Aislamiento Perimetral

Para formar las placas perimetrales que contengan las muestras espécimen a medir, se construyó una estructura de soporte a base de perfil tubular cuadrado de 3/4" calibre 14, soldado con soldadura 6013 de 1/8. Esta estructura forma una pared interna en contacto con la muestra y otra pared externa, a una distancia de 14cm promedio.

Para formar las paredes internas del equipo se fijaron paneles de novopan de 6mm de espesor con remaches pop dejando como medidas internas libres entre estas paredes 1.05m x 1.05m. La elección del novopan como material para las paredes responde a que ambas placas son de materiales altamente conductores y si se creaba un puente térmico entre ambas por conducción

el calor podría pasar desde la placa caliente, hacia las paredes y llegar a la placa fría, lo que alteraría la temperatura de esta y por consiguiente las mediciones.

En el espacio libre entre ambas paredes se colocó material aislante para evitar pérdidas de calor hacia los costados. Una capa de manta de fibra cerámica de 25mm de espesor está en contacto directo con las paredes internas. Y una pieza de poliestireno de densidad 10 y 7cm de espesor completa la capa aislante en todo el aparato. En la Figura 3.10 se muestran las piezas y secuencia de armado de las paredes aislantes del equipo. La placa frontal es desmontable para introducir las muestras y la placa fría al equipo. Está compuesta de una hoja de triplay de pino de 12mm, una tira perimetral de 25mm de espesor de madera aglomerada que alberga una capa de manta aislante cerámica y una hoja de triplay de 6mm como tapa final.



Figura 3.10. Paredes aislantes: a. estructura; b. pared interior; c. aislante manta cerámica; d. aislante poliestireno; e. placa frontal móvil. (Elaboración propia).

3.5.2.5 Placa Fría.

Según el arreglo elegido para la construcción de este aparato la placa fría se coloca en contacto con la muestra espécimen en la parte superior después de montada en la placa caliente. Debe sellar las pérdidas de calor hacia arriba de la mejor forma posible y hacia las paredes internas del aparato. El armado de la placa fría tuvo varias modificaciones desde el diseño del aparato. El principal objetivo de esta placa es mantener una temperatura constante menor a la placa caliente creando así el gradiente térmico necesario para las mediciones. Al mantener la muestra cerrada entre ambas placas y aislada del exterior evita el gasto excesivo de energía y reduce el tiempo de las pruebas. El diseño de la placa fría mostrado en la Figura 3.11, consta de una

bandeja con medidas de 1.00m x 1.00m y 10cm de altura, armada de una lámina de aluminio calibre 18 doblada en los talleres de la UAM-A. La lámina fue unida en sus vértices con escuadras de aluminio y remaches pop. Para asegurar el sellado de la bandeja se le colocó silicón arquitectónico en sus uniones.

Contenidas dentro de esta bandeja se colocan para cada experimento 20 bolsas de gel refrigerante sintético de medidas 25x18cm y 6 bolsas de 12x17cm, congeladas previamente en un refrigerador destinado para este fin. Las medidas de las bolsas fueron evaluadas para su mejor manejo en el proceso de las pruebas. El proceso de descongelación del gel es lento debido a la estructura de redes que se forman en el proceso de humectación de la resina. Esto permite un mayor tiempo de temperaturas bajas constantes en la placa fría, lo que da por resultado un flujo de calor forzado a través de la muestra espécimen. Como pieza final y con el objeto de mantener el mayor tiempo posible las temperaturas bajas en la placa fría durante los experimentos se colocará una placa de poliestireno expandido densidad 10 de 1.00 m x 1.00m sobre el arreglo de las bolsas de gel refrigerante. Con esto se espera que el intercambio de calor entre el ambiente del laboratorio y las bolsas se reduzca y su comportamiento sea más estable durante las horas de duración de la prueba.



Figura 3.11. Placa fría: a. bandeja aluminio; b. remaches en vértices; gel refrigerante c. temperatura ambiente y d. congelado; e. acomodo final para prueba. (Elaboración propia)

3.5.2.6 Instrumentos de medición de flujo de calor

Para la medición de las muestras espécimen a evaluar en el aparato se obtuvieron en los laboratorios de energía solar y termofluidos de la UAM-A los equipos de adquisición de datos de temperatura. Dos módulos análogos de la marca ADAM modelos 40-18 y 40-18M de 16bit y 8 canales que proveen rangos de salida programables para termopares fueron implementados al aparato. A los módulos ADAM 40-18 y 40-18M se conectaron 14 termopares tipo K de distintas longitudes, para tomar lecturas de 7 puntos de la muestra en cada cara expuesta a las placas caliente y fría respectivamente. Dichos termopares fueron fabricados con cable para termopar tipo KX20 SOLID PVC/PVC facilitado por el laboratorio de termofluidos. Los termopares se adhieren a la superficie a medir en el extremo opuesto a la conexión al módulo ADAM, donde por medio de calor extremo se funden las dos puntas entrelazadas formando una pequeña gota de metal. El corto circuito provocado por esta fundición manda las señales que el módulo de adquisición interpreta y traduce a temperaturas por medio de un programa LabView en un ordenador. Es de notar que los termopares no fueron calibrados bajo un riguroso proceso debido a que en su momento no se contaba con el equipo necesario para tal fin. En futuras pruebas es necesario retomar este punto para evitar rangos muy altos de incertidumbre en los resultados.

3.5.3 Pruebas de termografía

3.5.3.1 Primer prueba termográfica placa caliente

Como primera prueba del equipo se realizó una termografía para evaluar el comportamiento de la placa caliente y la distribución de calor en toda su superficie. La correcta distribución de energía por parte de la placa caliente es esencial para la correcta evaluación de las muestras.

3.5.3.1.1 Equipo utilizado

El equipo empleado para la evaluación de termografía fue una cámara termográfica de infrarrojos FLUKE Modelo Ti25. Su rango de medida de temperaturas es de -20°C a $+350^{\circ}\text{C}$, y su precisión es de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ o 2%. Gracias a las opciones que provee este equipo, se puede realizar una corrección de la emisividad del objeto medido, con el fin de obtener lecturas más acertadas. En este caso se hizo una corrección a una emisividad de 0,96 que corresponde al acero con superficie rugosa.

3.5.3.1.2 Prueba y resultados

La prueba se realizó ajustando el pirómetro digital de la placa caliente a una temperatura de 65°C. El intervalo de captura de imágenes fue a cada 5 minutos desde una distancia de 2.90m del centro de la placa y a una altura de 1.50 del nivel de la misma. El resultado de la prueba mostrado a continuación (Figura 3.12), presenta un rápido incremento de la temperatura al encender la placa caliente. A los 25 minutos de encendido la distribución de calor se vuelve más uniforme y al llegar a los 40 minutos de encendido su modificación hasta el final de la prueba fue poco significativa.

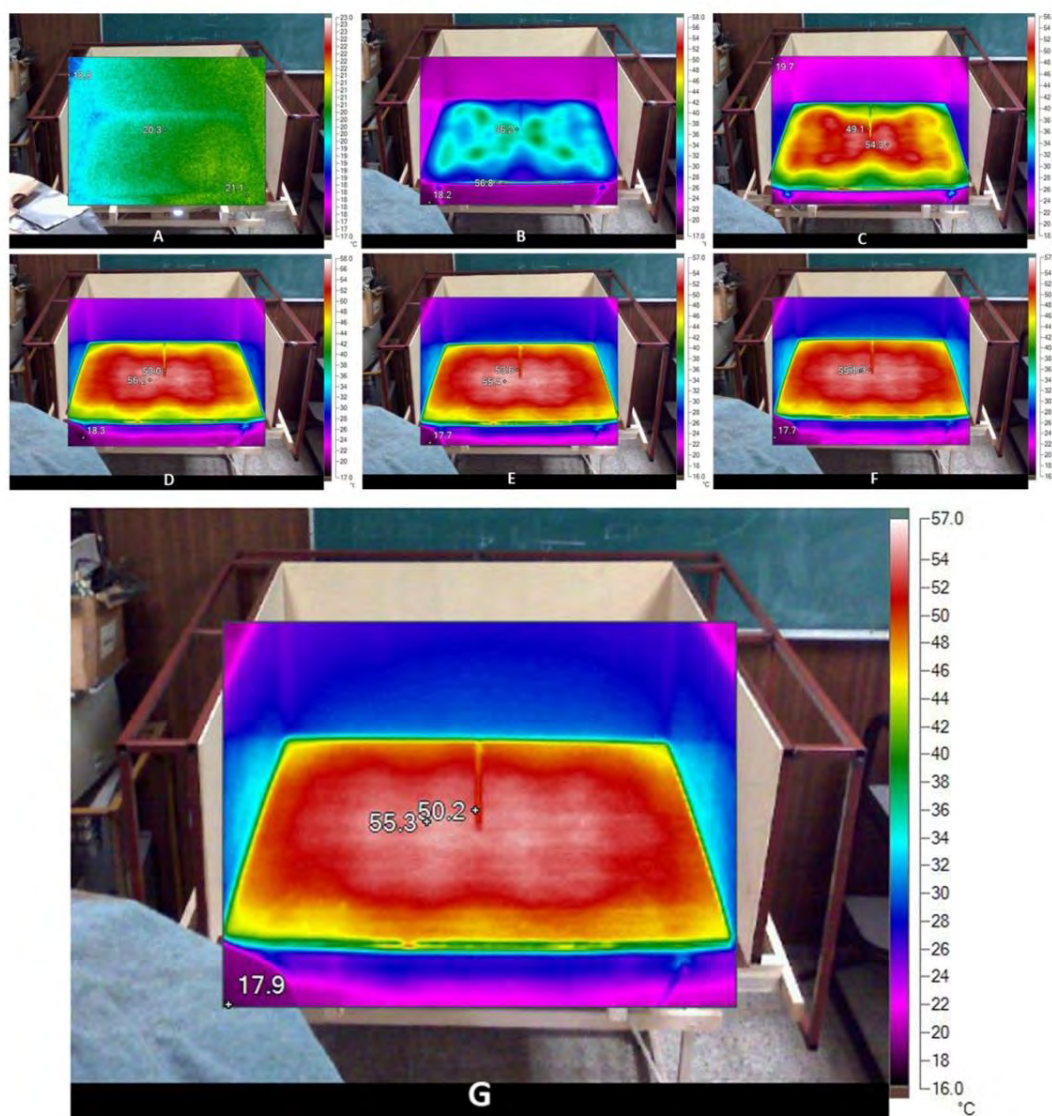


Figura 3.12. Primer prueba termográfica: a. Inicio de prueba; b. 10 min; c. 20 min; d. 30 min; e. 40 min; f. 50 min; g. fin de la prueba 60 min. (Elaboración propia)

3.5.3.2 Segunda prueba termográfica placa caliente.

En la primera prueba de termografía realizada a la placa caliente del aparato a partir del minuto 40 la distribución de calor no presenta variaciones aparentes. Para determinar si esto no es atribuido al ángulo en que se colocó la cámara termográfica se realizó una segunda prueba como verificación. En esta prueba la cámara fue colocada justo arriba de la placa con la intención de capturar el total de la misma. Debido al encuadre de la cámara y a la altura del laboratorio esto no fue posible, por lo cual las termografías de esta prueba debieron ser tomadas por cuadrantes para cubrir toda el área de la placa. En la Figura 3.13 se presentan los resultados de esta prueba.

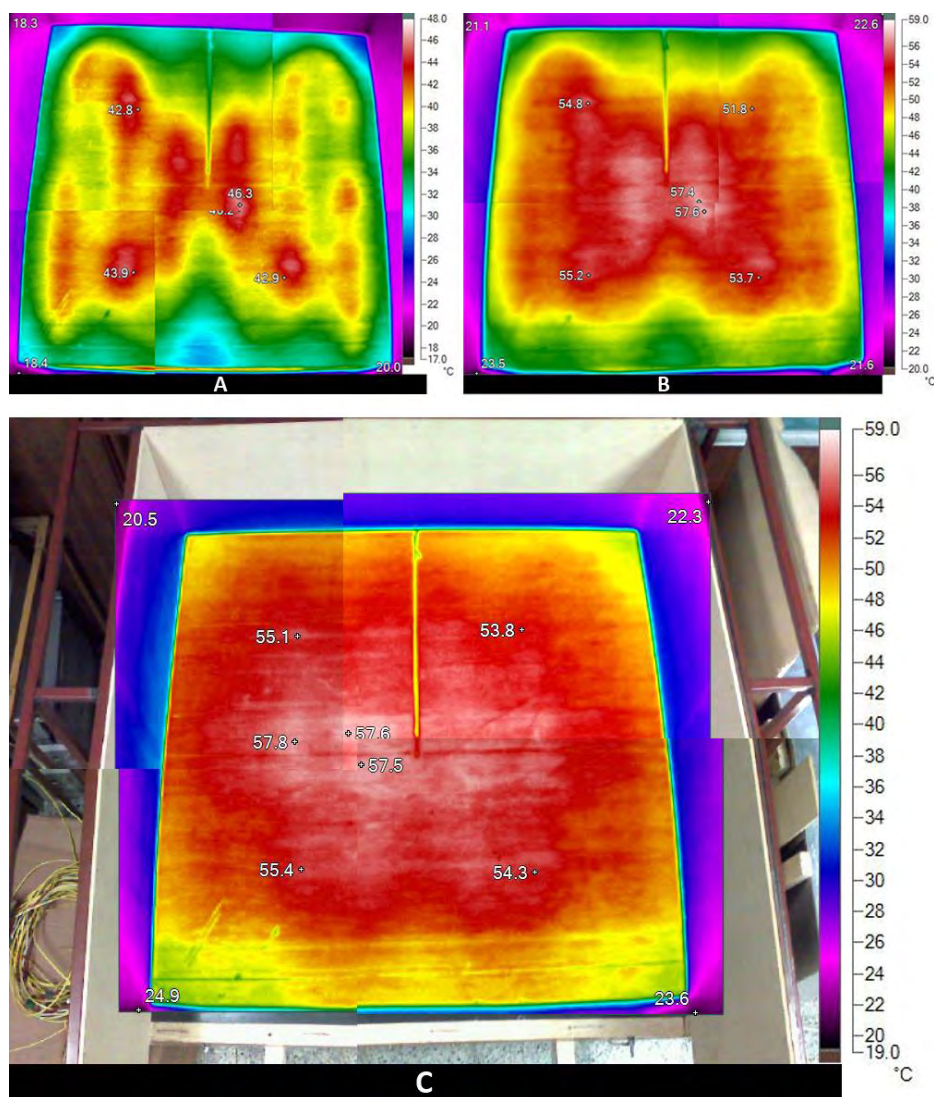


Figura 3.13. Segunda prueba termográfica: a. 20 min; b. 30 min; c. fin de la prueba 60 min. (Elaboración propia)

Con esta prueba se determina que la distribución de calor en la placa caliente es la requerida para las pruebas a realizar con el aparato. Es de considerar que todas las tomas fueron realizadas con la placa expuesta al ambiente, lo que facilita la disipación del calor. Al encontrarse ésta contenida en las pruebas de medición se mejorará la distribución de calor y el paso de este hacia las muestras introducidas.

3.5.4 Pruebas de potencia

Una de las constantes clave en el correcto funcionamiento del equipo se relaciona con la cantidad de calor que es aportada a la muestra a evaluar en cada prueba. En el caso del diseño de este aparato, la resistencia eléctrica descrita en el capítulo 4.5.2.2 „Placa Caliente” constituye la única fuente de energía para generar este calor. En aproximaciones iniciales se pensó tomar el valor nominal de esta resistencia, calculada por fórmula y a través de la medición real de voltaje y amperaje del equipo. Sin embargo, esto resulta en valores muy altos de los coeficientes al introducirse en las formulas. La razón de esto es que el controlador del equipo regula el tiempo de encendido de la resistencia y por lo tanto su consumo a lo largo de la prueba. En una prueba realizada con un equipo analizador de energía facilitado por el profesor Eduardo Campero de CBI, se pudo determinar con certeza la cantidad de potencia que el equipo aporta a la muestra. A continuación se presenta dicha prueba y sus resultados.

3.5.4.1 Equipo utilizado.

El equipo empleado en esta prueba fue un analizador de redes eléctricas de la marca AEMC Modelo 8335, a continuación mostrado en la Figura 3.14. La conexión a través del analizador de redes eléctricas permite medir el consumo real de cualquier aparato o instalación eléctrica durante el tiempo que se determine en el equipo.

Figura 3.14. Analizador de redes eléctricas durante la prueba en el laboratorio de energía solar. (Elaboración propia).



3.5.4.2 Resultados de la prueba

Con el fin de comparar resultados y comprobar repetibilidad en el sistema se realizaron dos pruebas de potencia del equipo. A continuación se muestran los resultados de la prueba y el valor final obtenido. La primera de estas pruebas comenzó el día 15 de enero de 2015 a las 2:30pm y terminó el día 16 de enero a las 11:00am, tuvo una duración de 20 horas con 30 minutos. Se programó la captura de datos a cada minuto para evaluar el consumo de la resistencia lo más certero posible. La temperatura programada en el controlador del conductímetro fue de 60°C y no fue colocada muestra alguna, aunque de lo anterior no depende el comportamiento de la resistencia y su consumo. La Figura 3.15 mostrada a continuación presenta la gráfica obtenida del aparato con los datos de consumo en Watts de toda la prueba.

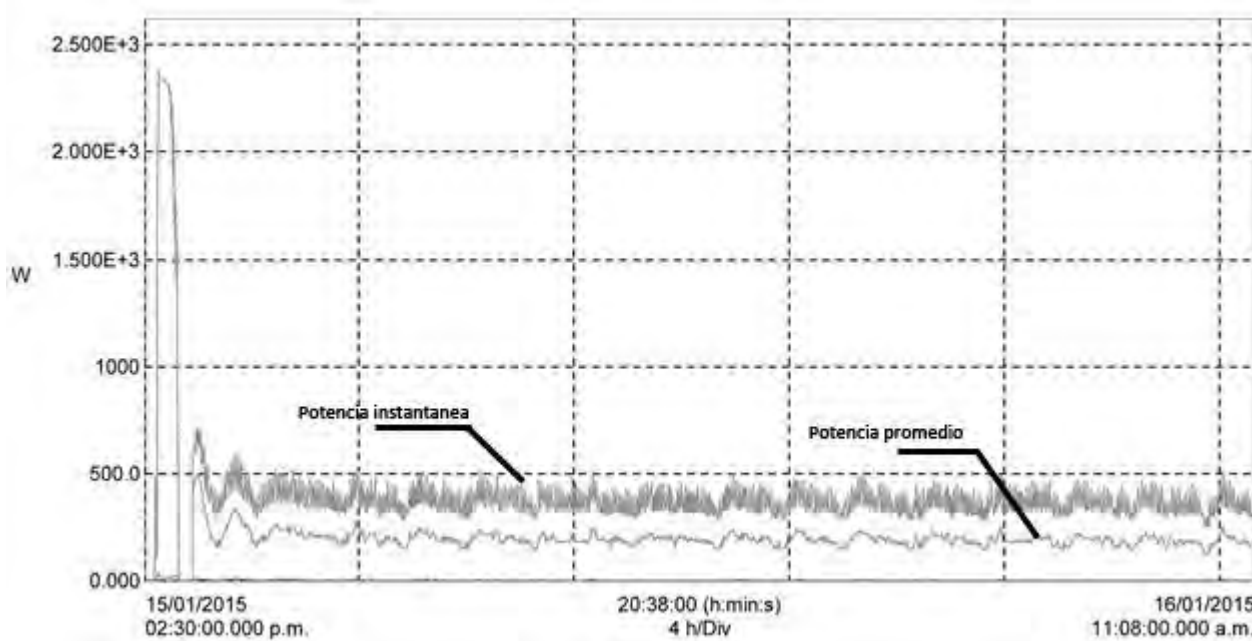


Figura 3.15. Datos graficados obtenidos durante la primer prueba potencia. (Elaboración propia).

Como se observa en la gráfica anterior el consumo del equipo es mucho menor al nominal durante su comportamiento típico y solo se presenta el valor total durante los primeros minutos del encendido, tiempo en que requiere de más energía la resistencia para elevar la temperatura de la placa caliente. Debido a estos comportamientos y por recomendación del asesor en eléctrica se obtuvieron promedios de toda la prueba por cada hora para identificar comportamientos atípicos y descartarlos del promedio total de consumo. Dichos promedios fueron los siguientes y se muestran en la tabla 3.1:

HORAS DE PRUEBA	POTENCIA PROMEDIO (W)	MEDIANA DE POTENCIA (W)
1.00	936.22	447.64
2.00	234.07	229.40
3.00	225.01	229.73
4.00	204.92	204.11
5.00	195.00	192.72
6.00	191.88	194.45
7.00	201.88	198.38
8.00	187.29	184.98
9.00	188.98	186.39
10.00	197.65	199.93
11.00	190.40	189.03
12.00	188.44	193.31
13.00	185.49	185.45
14.00	196.75	196.39
15.00	189.25	194.08
16.00	183.98	182.93
17.00	184.50	185.79
18.00	187.31	192.95
19.00	183.89	186.02
20.00	178.92	180.43
PROMEDIOS TOTALES	194.51	207.71

Tabla 3.1. Datos promedio por hora prueba de potencia. (Elaboración propia).

Durante la primer hora de la prueba el consumo reportado presenta durante 18 minutos valores superiores a los 2300W, consumo calculado como nominal de la resistencia. Posteriormente su consumo decrece a 900 y debido a la configuración del controlador por 16 minutos permanece apagada la resistencia. Durante los minutos que restan a esta primera hora el consumo varía entre los 328 y 502W. Ya que el comportamiento es tan variado durante esta hora en que el controlador estabiliza la temperatura de la placa caliente, se descartaron sus datos para usarlos en el promedio total de consumo. La segunda prueba realizada al equipo inició el 18 de enero a las 5:11pm y terminó el 19 de enero a las 12:30pm con una duración de 19 horas. Bajo los mismos parámetros que la anterior prueba se obtuvo el valor promedio de consumo y su variación con el primer dato obtenido fue de 0.467% por lo cual se toma el valor inicial como correcto de consumo promedio total, siendo este de 194.51 W.

3.6 Procedimiento y resultado de pruebas conductividad y conductancia térmica.

3.6.1 Descripción del método experimental. Preparación de una muestra y primera prueba del aparato.

La metodología que a continuación se describe se mantuvo constante en todas las pruebas para obtención de coeficientes de conductividad y conductancia térmica. Ciertos ajustes en cuanto a la adquisición de datos fueron requeridos conforme las pruebas avanzaron. En el anexo X se presenta un manual paso a paso para el uso correcto del aparato y las posibles variaciones a realizar según la muestra que se pretenda evaluar.

Como primer paso se debe realizar el trazo de los siete puntos a medir con los termopares en ambas caras del panel de 1.00m x 1.00 m, cuidando que los puntos queden siempre uno encima del otro. Las siguientes imágenes (Figuras 3.16 y 3.17) muestran el plano de ubicación de dichos puntos y las ranuras que en ambas caras del panel se deben realizar con el fin de albergar el cable del termopar y así evitar posibles cámaras de aire entre la muestra y las placas. Como medio para evitar el contacto entre las placas y los termopares, en esta muestra, se colocó grasa conductante para electrónica en cada punto de medición.

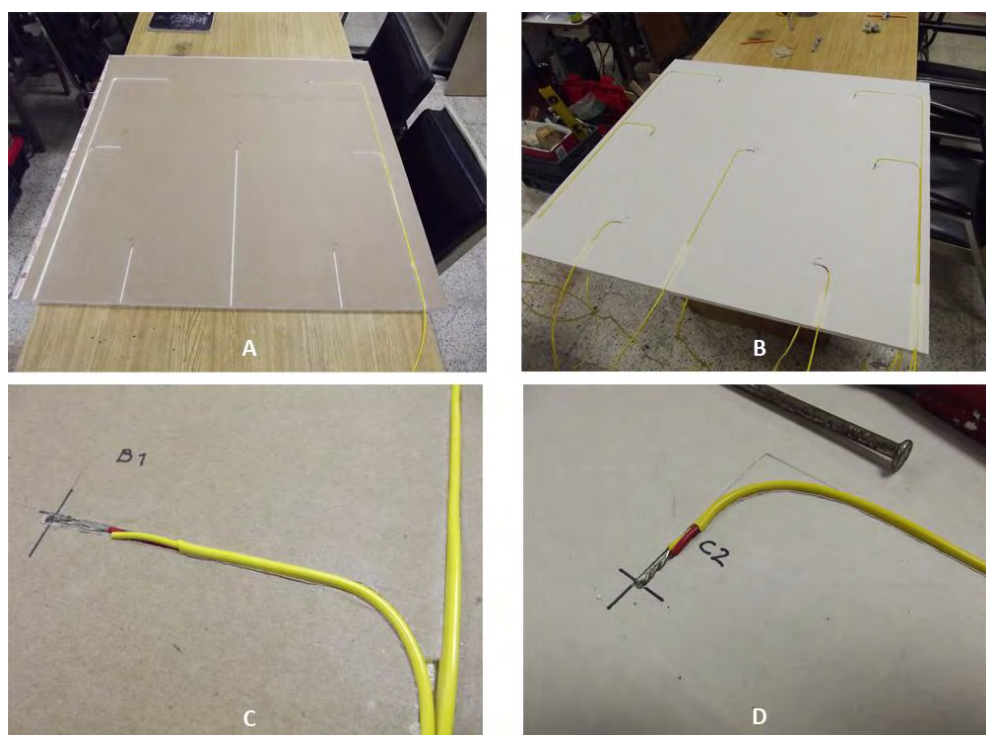


Figura 3.16. Preparación de muestra; a. ranuras en cara hacia placa caliente y b. placa fría; c. y d. colocación de termopares en ambas caras (Elaboración propia).

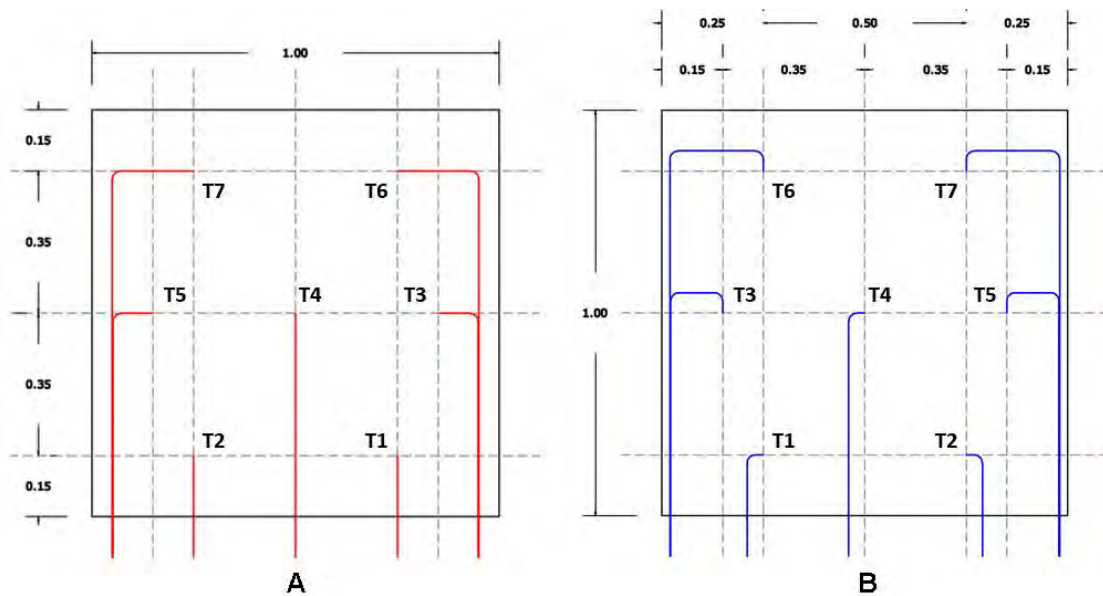


Figura 3.17. Preparación de muestra, plano de ubicación de termopares en a. placa caliente y b. placa fría. (Elaboración propia).

La duración total de esta primera prueba fue de 23 horas. Iniciando el miércoles 11 de junio a las 16:00 hrs y terminando el jueves 12 de junio a las 15:00 hrs. Las lecturas de los siete termopares de cada lado de la muestra son presentadas en las gráficas siguientes (Figuras 3.18, 3.19 y 3.20). Se realizó un promedio de las lecturas tanto de la placa caliente como de la placa fría, con el objeto de poder comparar los datos entre ambas caras y obtener el tiempo en que se dio el flujo de calor en estado permanente de la muestra. Las lecturas fueron tomadas a cada 2 minutos, teniendo así 30 lecturas por hora.

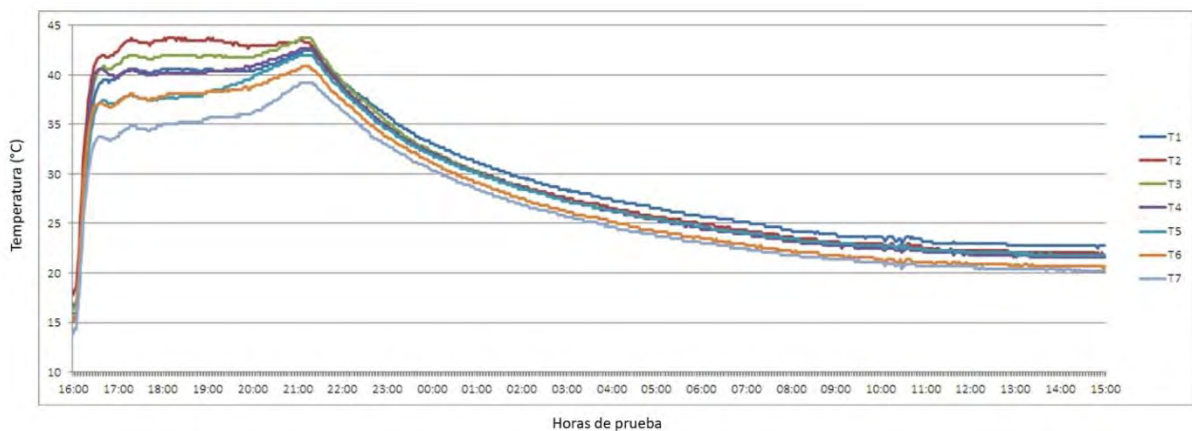


Figura 3.18. Lecturas de termopares en cara caliente de la muestra. Duración de la prueba 23 horas. (Elaboración propia)

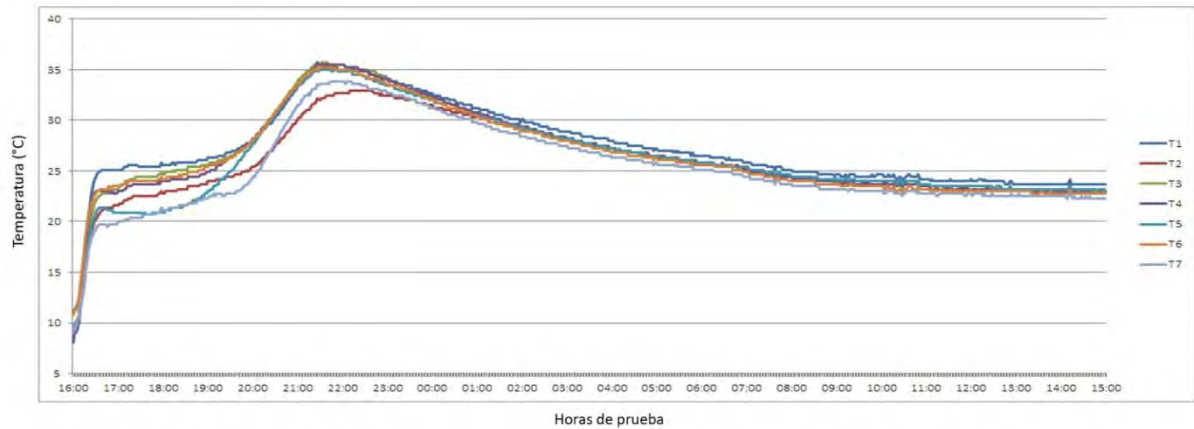


Figura 3.19. Lecturas de termopares en cara fría de la muestra. Duración de la prueba 23 horas. (Elaboración propia)

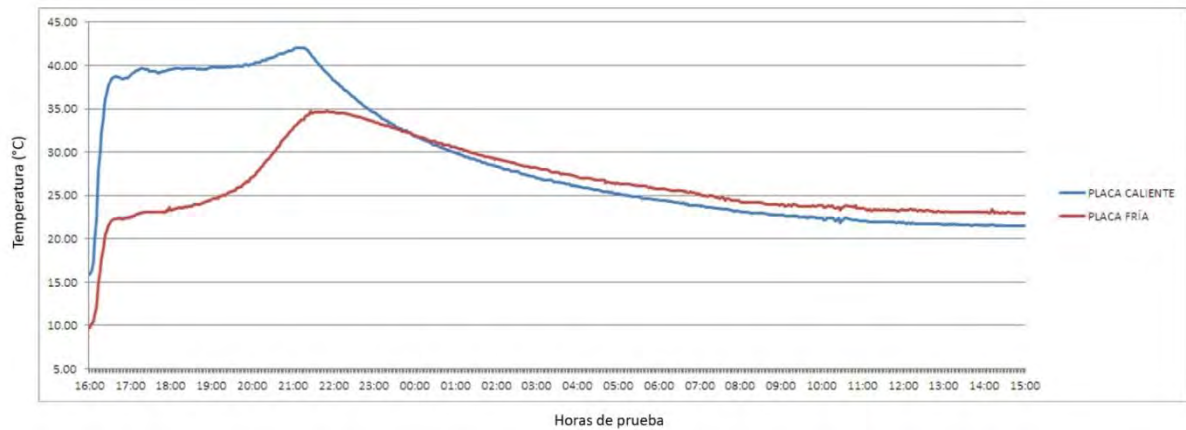


Figura 3.20. Lecturas de termopares promediadas en ambas caras de la muestra. Duración de la prueba 23 horas. (Elaboración propia)

De las anteriores gráficas se puede determinar que el estado permanente de la muestra es alcanzado entre las 17:00 y las 20:00 hrs que es cuando las mediciones se mantienen más constantes. Ubicamos las lecturas entre las 18:08 y las 18:56 donde la temperatura varió 0.10 K en la placa caliente (de 39.60 a 39.70°C) y en la placa fría 0.88 K en la placa fría (de 23.49 a 24.37°C). Debido a la variación que se presenta en estos puntos se estima que el estado permanente de la muestra fue alcanzado a los 128 minutos de haber iniciado la prueba y las variaciones desde ese punto son producto de la ganancia de calor que tiene la placa fría al estar en contacto con la temperatura y las condicionantes del medio ambiente dentro del laboratorio.

Con base a estas mediciones se puede establecer, para muestras de este espesor, un tiempo para alcanzar el estado permanente de 120 minutos, hacer variar la temperatura por otros 120 minutos y dejar el equipo estabilizarse durante 5 horas para comparar resultados.

En muestras de mayor espesor será necesario realizar pruebas piloto para estimar los tiempos de encendido y apagado de la placa caliente. Con el fin de que se utilice solo la energía necesaria por la prueba y no se haga un malgasto de esta en cada prueba a realizar.

3.6.2 Pruebas de calibración.

Como método de calibración del aparato se optó por utilizar un material cuya conductividad fuera conocida y rastreable a una fuente validada. Debido a los recursos disponibles no se pudo disponer de una muestra certificada por un laboratorio especializado, siendo lo anterior una condición óptima para calibrar equipos como este. Debido a que el aparato podrá medir muestras de gran formato de sistemas constructivos, la calibración fue realizada con un material de construcción industrializado. Con datos proporcionados por USG México, S.A de C.V. (Planta Monterrey) bajo la certificación ONNCCE (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación) que cumple la norma NOM-018-ENER-2011, se realizó la selección de tres materiales a utilizar como muestras de calibración. A continuación se presentan a detalle dos pruebas realizadas a dos paneles de tablaroca con los resultados obtenidos de conductividad y conductancia térmica y una tabla resumen al final.

El tablero de yeso marca TABLAROCA de núcleo regular de tiene las siguientes características presentadas en la Tabla 3.2:

CERTIFICADO BNZ-017-001-S/12	
Producto: Tablero de yeso marca TABLAROCA núcleo Regular de 0,0127 m (¹ / ₂ in)	
Densidad aparente:	584,29 kg / m ³
Conductividad Térmica:	0,144 W / m·K
Resistencia Térmica para un Espesor de 0,0127 m:	0,0882m ² · K/W
Permeabilidad al vapor de agua:	0,3176 ng / Pa·s·m
Adsorción de humedad:	% masa (0,869)
	% volumen (0,5050)
Absorción de agua:	% masa (70,33)
País de origen: México Vigencia del certificado: 16/07/2012 al 31/05/2013.	

Tabla 3.2. Certificado Onncce Tablaroca núcleo regular. (ONNCCE (2012).

3.6.2.1 Tablaroca Núcleo Regular. Prueba completa.

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel de tablaroca núcleo regular 27mm

Numero de prueba: TRNR005

Fecha: del 14 al 15 Julio 2014

Duración 21 horas

INICIO	17:50	HRS	Lunes 14 Julio
PRENDIDO PLACA CALIENTE	18:14	HRS	Lunes 14 Julio
APAGADO PLACA CALIENTE	22:40	HRS	Lunes 14 Julio
TERMINO	15:00	HRS	Martes 15 Julio

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 20:58hrs y las 21:36hrs del Lunes 14 Julio.

Duración: 38min

Tabla con 10 valores estables continuos.

		TEMPERATURA EN CARAS		
FECHA	HORA	CALIENTE	FRÍA	
Lunes/14/Julio/2014	21:00	40.24	23.54	°C
Lunes/14/Julio/2014	21:02	40.21	23.54	°C
Lunes/14/Julio/2014	21:04	40.21	23.54	°C
Lunes/14/Julio/2014	21:06	40.24	23.54	°C
Lunes/14/Julio/2014	21:08	40.24	23.54	°C
Lunes/14/Julio/2014	21:10	40.24	23.54	°C
Lunes/14/Julio/2014	21:12	40.16	23.54	°C
Lunes/14/Julio/2014	21:14	40.21	23.69	°C
Lunes/14/Julio/2014	21:16	40.24	23.66	°C
Lunes/14/Julio/2014	21:18	40.14	23.59	°C
	PROMEDIOS	40.22	23.57	°C

CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A * \Delta T}$$

$$\lambda = P * \left(\frac{L}{A * \Delta T} \right)$$

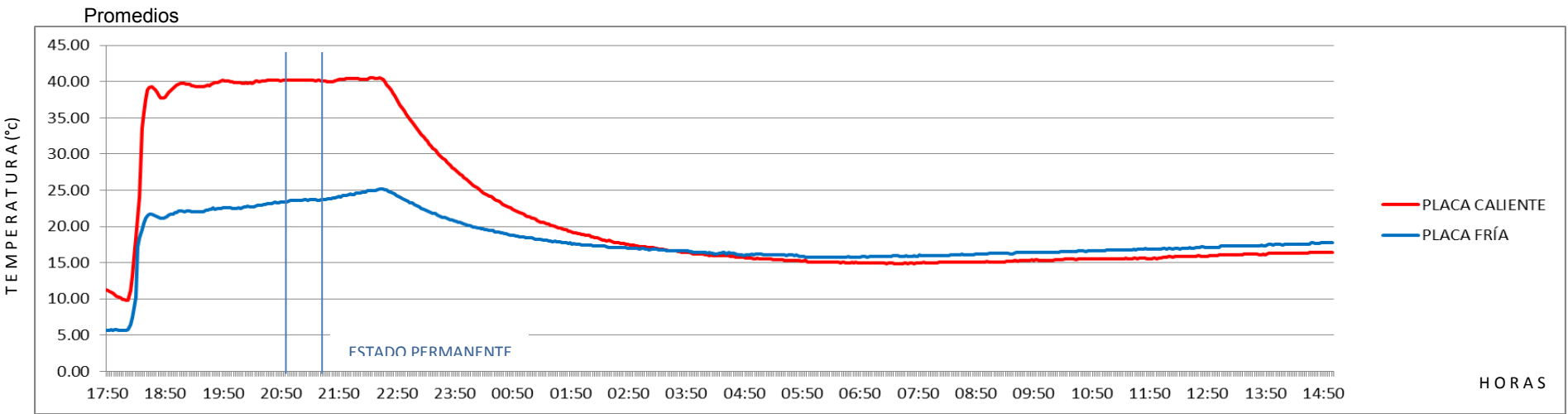
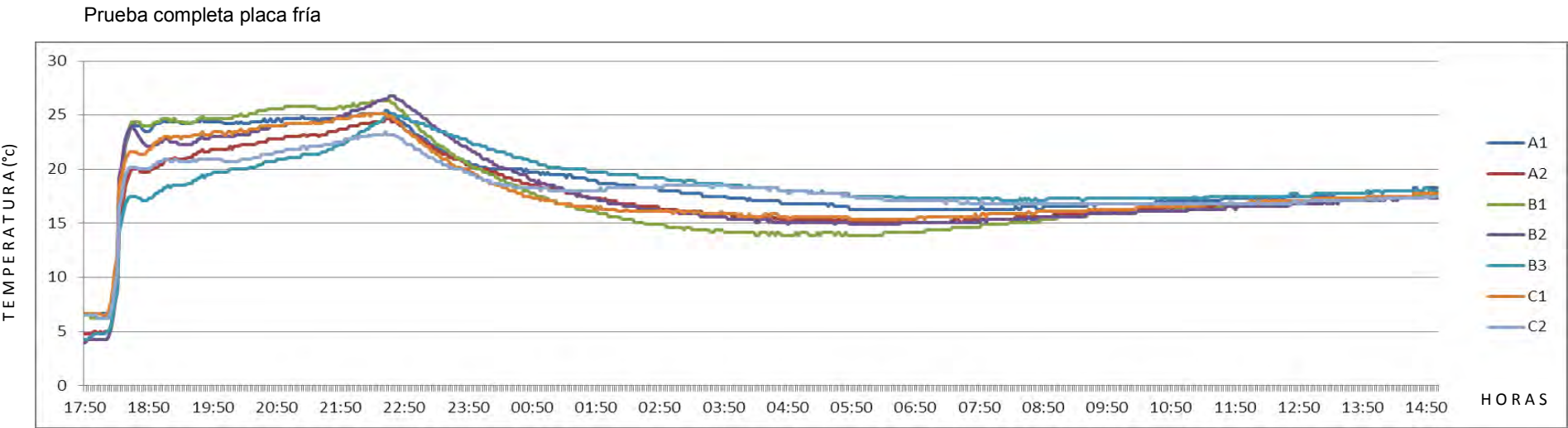
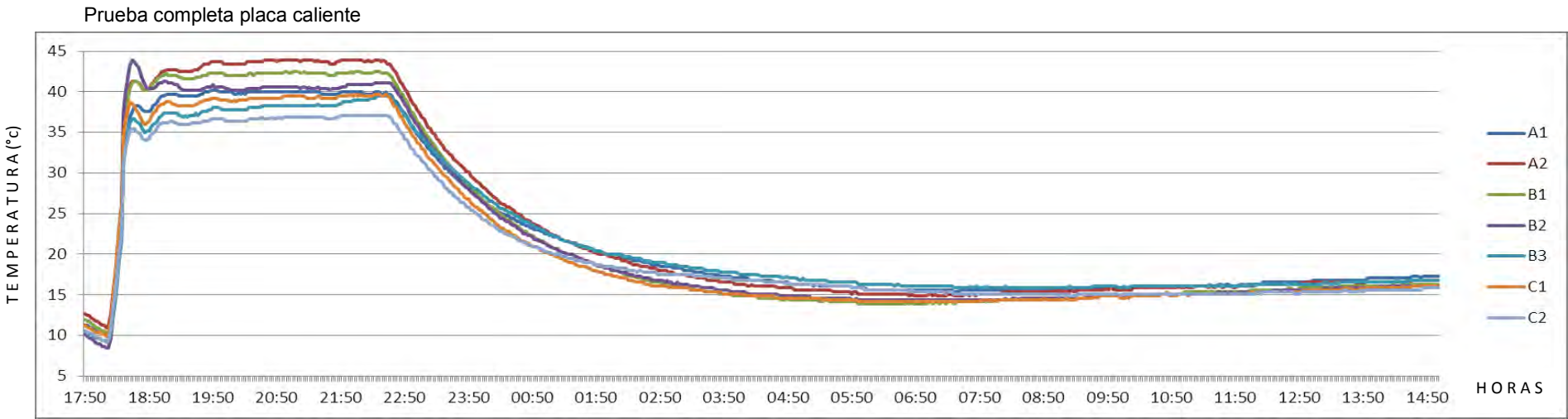
P = 194.51 W
A = 1.00 m²
L = 0.0131 m

Simbología

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

RESULTADOS			
C	=	11.6873	W/(m²*K)
λ	=	0.1531	W/(m*K)

GRAFICAS



3.6.2.2 Tablaroca Anti-moho. Prueba completa.

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel de tablaroca anti-moho 27mm

Numero de prueba: TRAM005

Fecha: del 18 al 19 Octubre 2014

Duración 24 horas

INICIO	11:30	HRS	Sabado 18 Octubre
PRENDIDO PLACA CALIENTE	11:44	HRS	Sabado 18 Octubre
APAGADO PLACA CALIENTE	17:58	HRS	Sabado 18 Octubre
TERMINO	11:30	HRS	Domingo 19 Octubre

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 14:18hrs y las 15:16hrs del Sábado 18 Octubre

Duración: 58min

Tabla con 10 valores estables continuos.

		TEMPERATURA EN CARAS		
FECHA	HORA	CALIENTE	FRÍA	
Sábado/18/Octubre/2014	14:30	38.93	21.11	°C
Sábado/18/Octubre/2014	14:32	38.93	21.01	°C
Sábado/18/Octubre/2014	14:34	38.93	21.06	°C
Sábado/18/Octubre/2014	14:36	38.93	21.11	°C
Sábado/18/Octubre/2014	14:38	38.90	21.09	°C
Sábado/18/Octubre/2014	14:40	38.93	21.11	°C
Sábado/18/Octubre/2014	14:42	38.90	21.14	°C
Sábado/18/Octubre/2014	14:44	38.93	21.14	°C
Sábado/18/Octubre/2014	14:46	38.87	21.14	°C
Sábado/18/Octubre/2014	14:48	38.90	21.14	°C
	PROMEDIOS	38.91	21.11	°C

CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A * \Delta T}$$

$$\lambda = P * \left(\frac{L}{A * \Delta T}\right)$$

P = 194.51 W
A = 1.00 m²
L = 0.0131 m

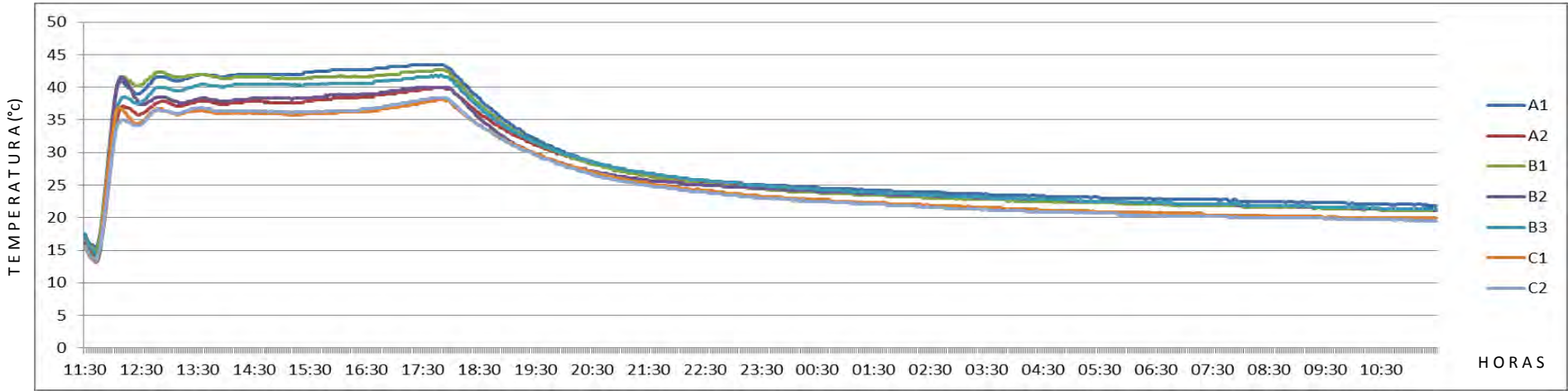
Simbología

SIMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

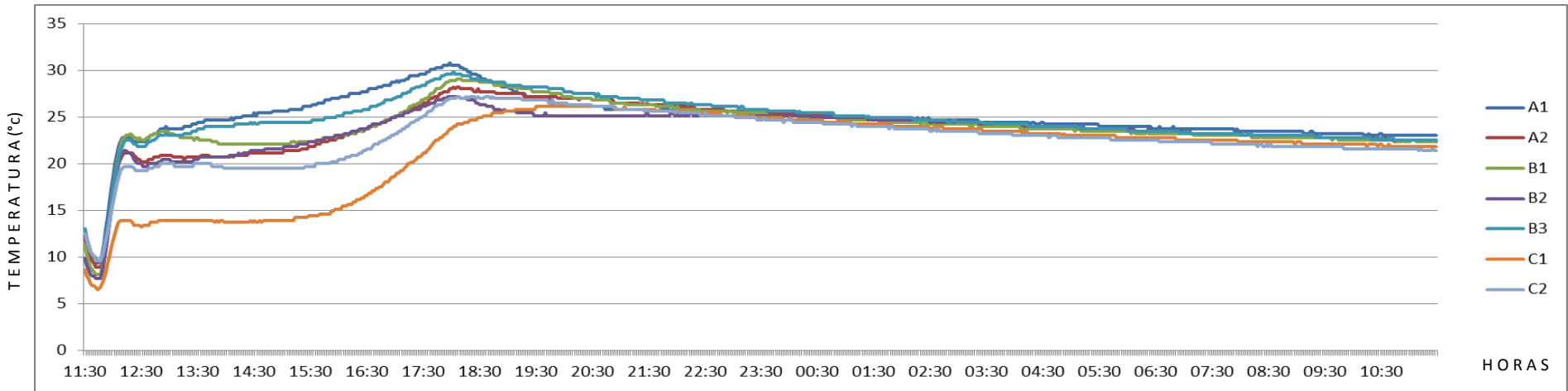
RESULTADOS			
C	=	10.9231	W/(m²*K)
λ	=	0.1431	W/(m*K)

GRAFICAS

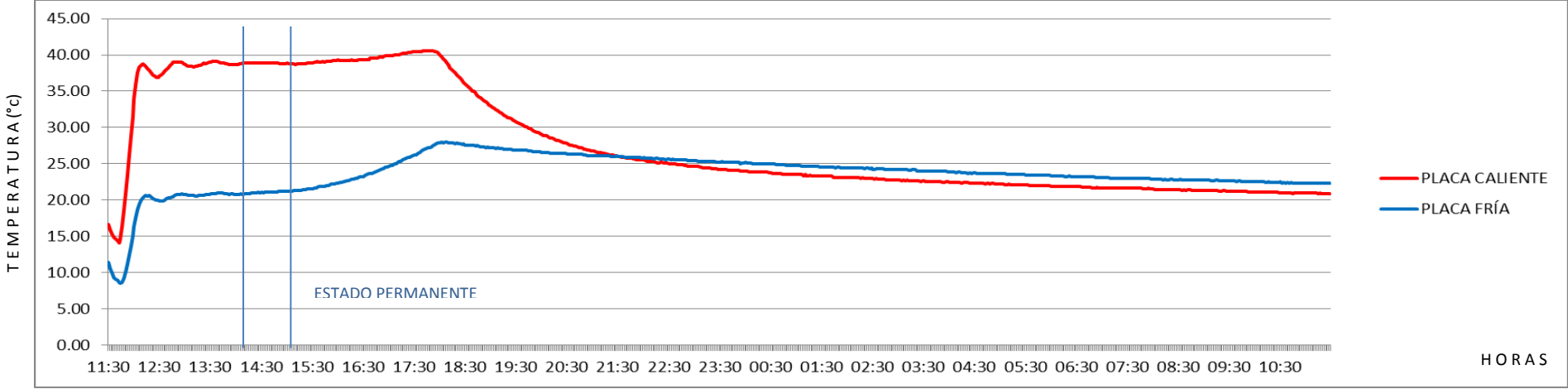
Prueba completa placa caliente



Prueba completa placa fría



Promedios



3.6.3 Pruebas realizadas a sistemas de bambú.

Como se mencionó en la descripción de las muestras y del método experimental, los cuatro paneles sometidos a pruebas en el laboratorio fueron trazados, ranurados y colocados sus termopares con la variante de que se utilizó material propio de la muestra para cubrir las terminales de los sensores en cada prueba, siguiendo una metodología para medición en sitio de materiales de construcción (Evans 2009). Lo anterior responde al principio de que el sensor debe tomar la temperatura de la muestra y no del ambiente que la rodea, para que las lecturas sean lo más acertadas posibles.

En las siguientes páginas se presenta, del mismo modo que con las pruebas de calibración, un reporte detallado de uno de los experimentos realizados a cada una de las cuatro muestras. Al final se presenta una tabla resumen de todas las pruebas de cada muestra para la obtención de los valores finales reportados en el documento. En el Anexo II, se pueden encontrar el resto de las pruebas realizadas a todos los paneles, con resultados y tablas parciales de mediciones.

3.6.3.1 Bahareque de pared única.

3.6.3.1.1 Preparación de la muestra.

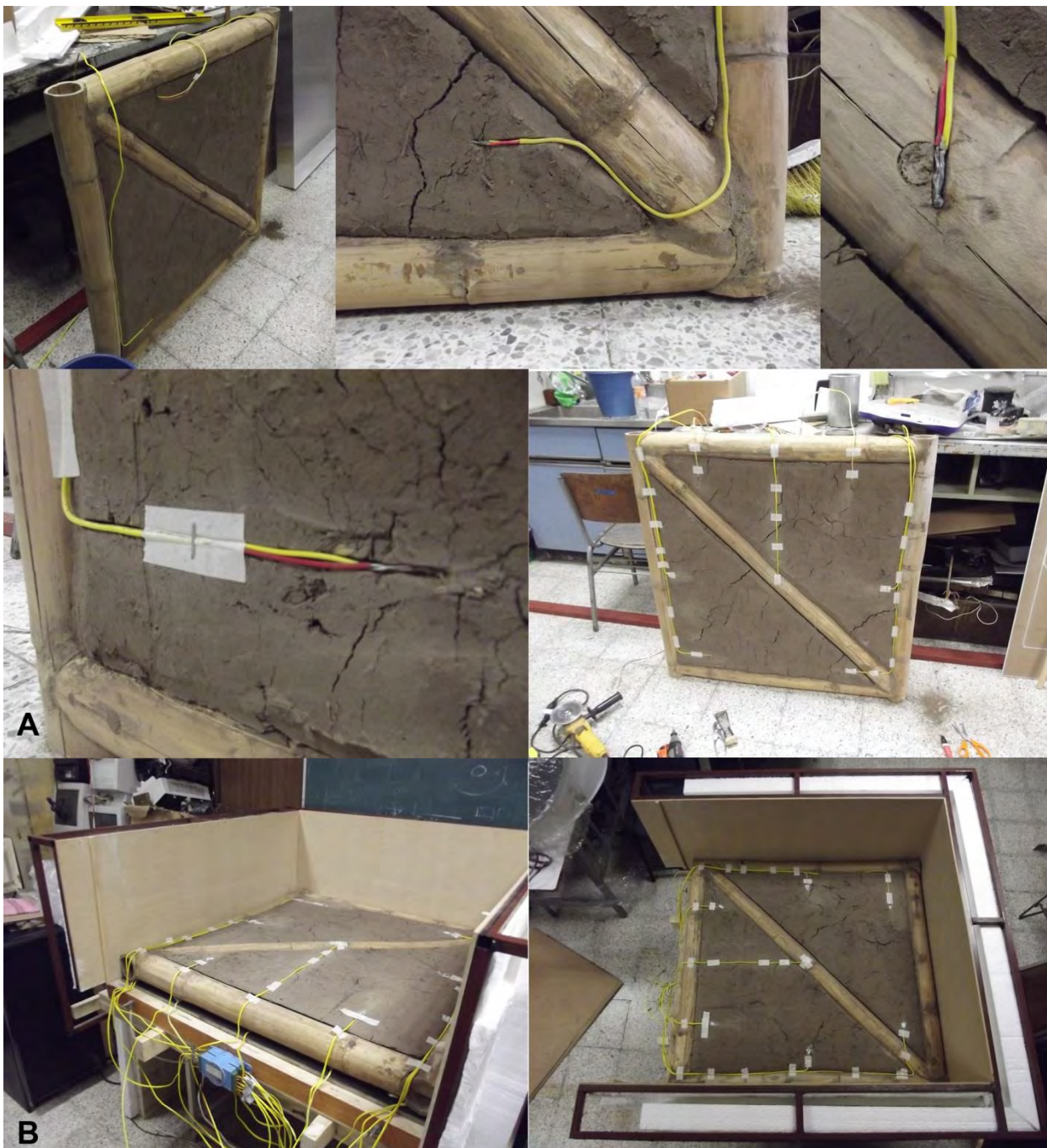


Figura 3.21. Preparación de la muestra para mediciones: a. rebaje, perfilado de bambú y colocación de termopares; b. montado en el equipo. (Elaboración propia)

3.6.3.1.2 Prueba completa.

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel de bahareque pared única

Numero de prueba: BHS002

Fecha: del 12 al 14 de Agosto 2014

Duración 36 horas

INICIO	18:20	HRS	Martes 12 Agosto
PRENDIDO PLACA CALIENTE	18:34	HRS	Martes 12 Agosto
APAGADO PLACA CALIENTE	12:50	HRS	Miercoles 13 Agosto
TERMINO	06:20	HRS	Jueves 14 Agosto

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 00:06hrs y las 01:44hrs del Miércoles 13 Agosto

Duración: 98min

Tabla con 10 valores estables continuos.

		TEMPERATURA EN CARAS		
FECHA	HORA	CALIENTE	FRÍA	
Miércoles/13/Agosto/2014	00:42	35.26	12.96	°C
Miércoles/13/Agosto/2014	00:44	35.29	12.96	°C
Miércoles/13/Agosto/2014	00:46	35.19	12.96	°C
Miércoles/13/Agosto/2014	00:48	35.26	12.96	°C
Miércoles/13/Agosto/2014	00:50	35.20	12.96	°C
Miércoles/13/Agosto/2014	00:52	35.16	12.96	°C
Miércoles/13/Agosto/2014	00:54	35.16	12.96	°C
Miércoles/13/Agosto/2014	00:56	35.26	12.96	°C
Miércoles/13/Agosto/2014	00:58	35.19	12.96	°C
Miércoles/13/Agosto/2014	01:00	35.21	12.96	°C
PROMEDIOS		35.22	12.96	°C

CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A * \Delta T}$$

$$\lambda = P * \left(\frac{L}{A * \Delta T} \right)$$

P = 194.51 W

A = 1.00 m²

L = 0.1020 m

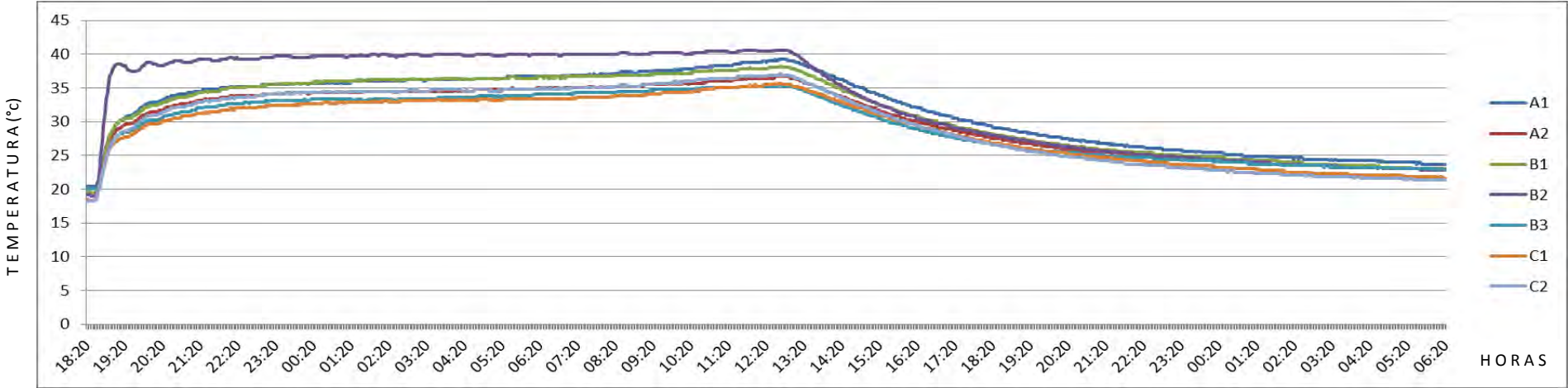
Simbología

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

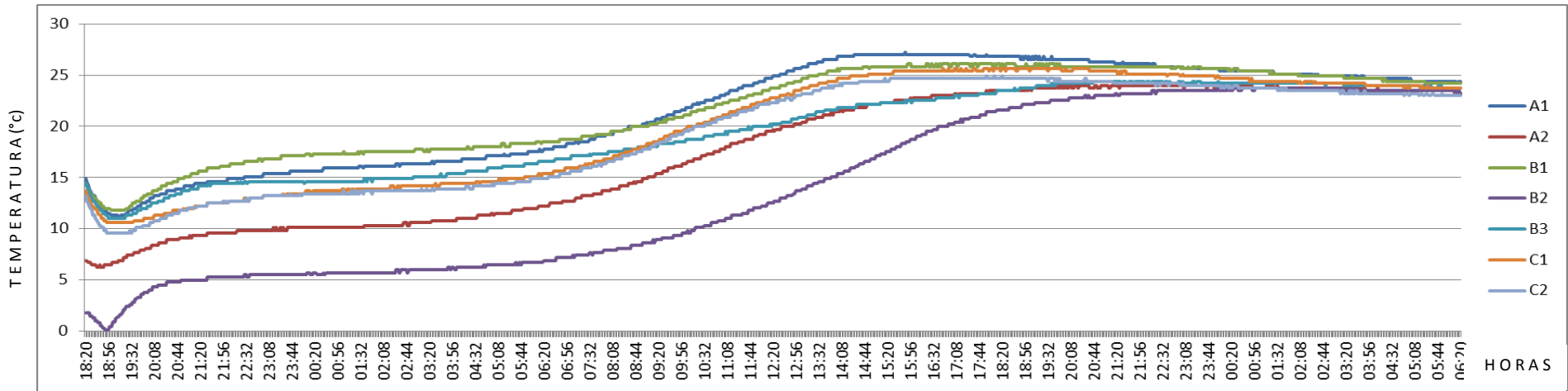
RESULTADOS			
C	=	8.7387	W/(m²*K)
λ	=	0.8913	W/(m*K)

GRAFICAS

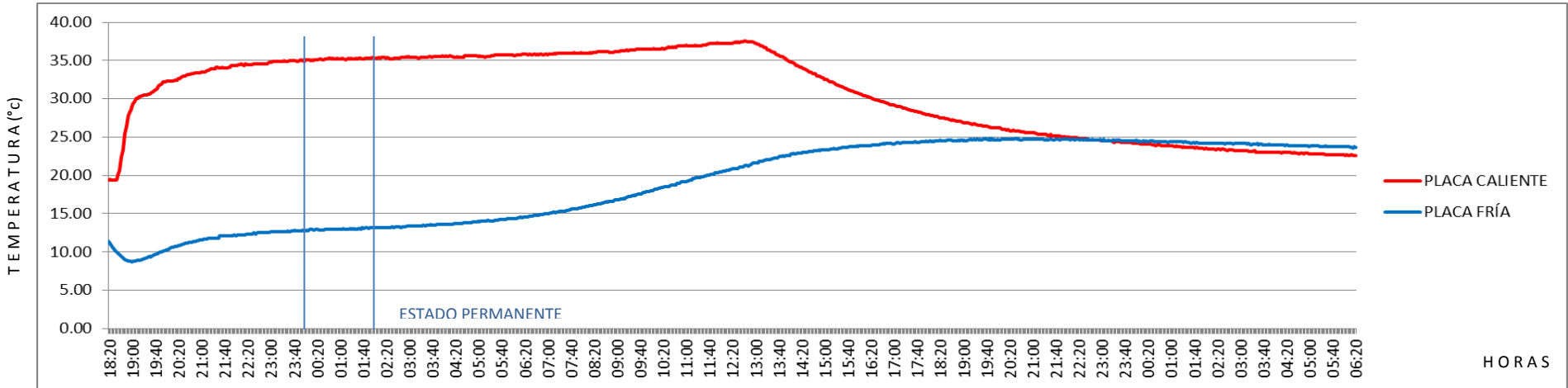
Prueba completa placa caliente



Prueba completa placa fría



Promedios



3.6.3.2 Bahareque de doble pared

3.6.3.2.1 Preparación de la muestra.

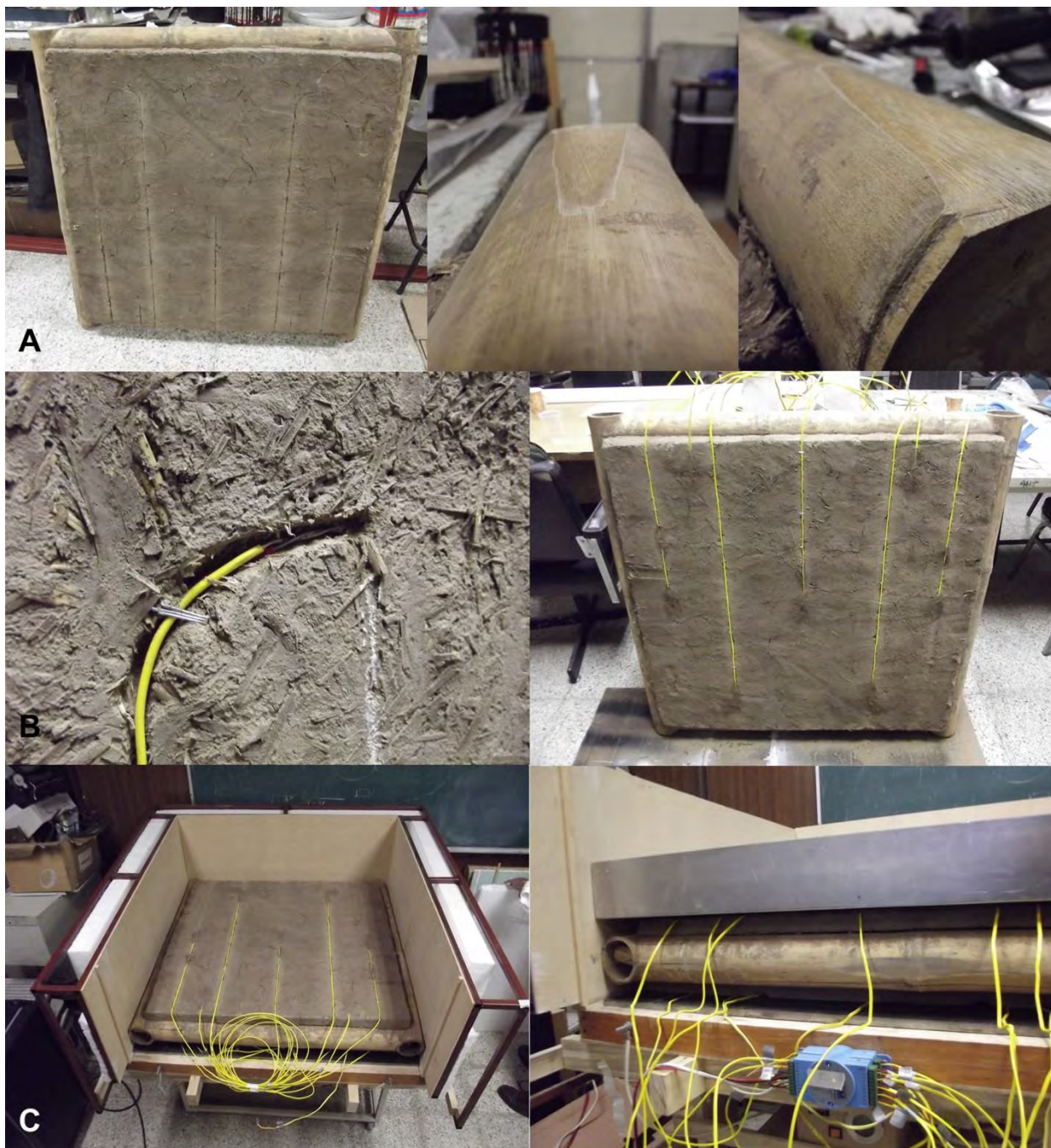


Figura 3.22. Preparación de la muestra para mediciones: a. rebaje y perfilado de bambú; b. colocación de termopares; c. montado en el equipo. (Elaboración propia)

3.6.3.2.2 Prueba completa.

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel de bahareque pared doble

Numero de prueba: BHDP004

Fecha: del 14 al 16 de Noviembre 2014

Duración 52 horas

INICIO	11:34	HRS	Viernes 14 Noviembre
PRENDIDO PLACA CALIENTE	11:45	HRS	Viernes 14 Noviembre
APAGADO PLACA CALIENTE	18:20	HRS	Sabado 15 Noviembre
TERMINO	15:34	HRS	Domingo 16 Noviembre

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 03:24hrs y las 05:30hrs del Sábado 15 Noviembre

Duración: 126min

Tabla con 10 valores estables continuos.

		TEMPERATURA EN CARAS		
FECHA	HORA	CALIENTE	FRÍA	
Sábado/15/Noviembre/2014	03:44	42.16	9.70	°C
Sábado/15/Noviembre/2014	03:46	42.16	9.70	°C
Sábado/15/Noviembre/2014	03:48	42.16	9.70	°C
Sábado/15/Noviembre/2014	03:50	42.16	9.70	°C
Sábado/15/Noviembre/2014	03:52	42.16	9.70	°C
Sábado/15/Noviembre/2014	03:54	42.16	9.70	°C
Sábado/15/Noviembre/2014	03:56	42.16	9.70	°C
Sábado/15/Noviembre/2014	03:58	42.16	9.70	°C
Sábado/15/Noviembre/2014	04:00	42.16	9.70	°C
Sábado/15/Noviembre/2014	04:02	42.24	9.70	°C
	PROMEDIOS	42.17	9.70	°C

CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A * \Delta T}$$

$$\lambda = P * \left(\frac{L}{A * \Delta T} \right)$$

P = 194.51 W
A = 1.00 m²
L = 0.1530 m

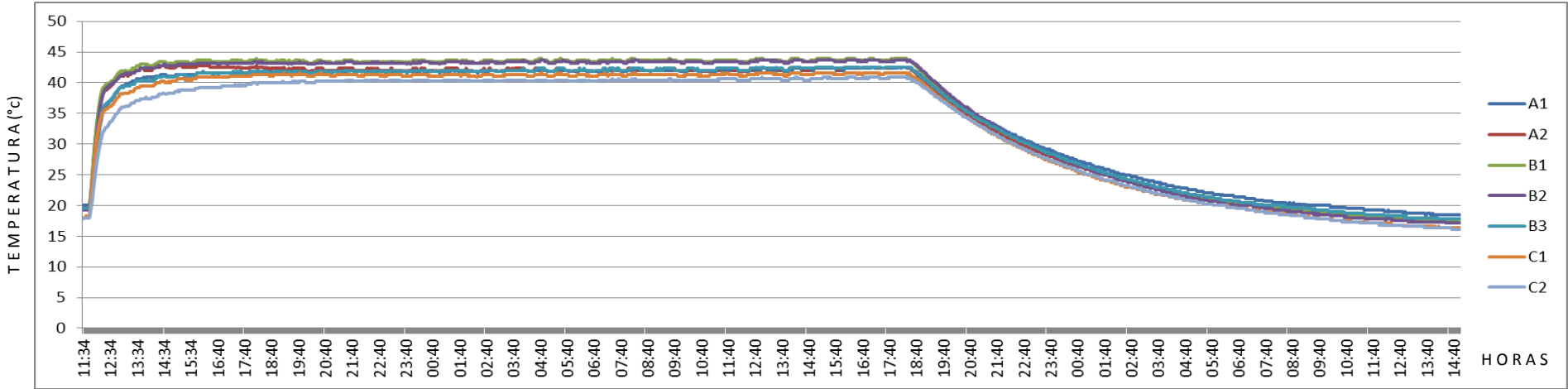
Simbología

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

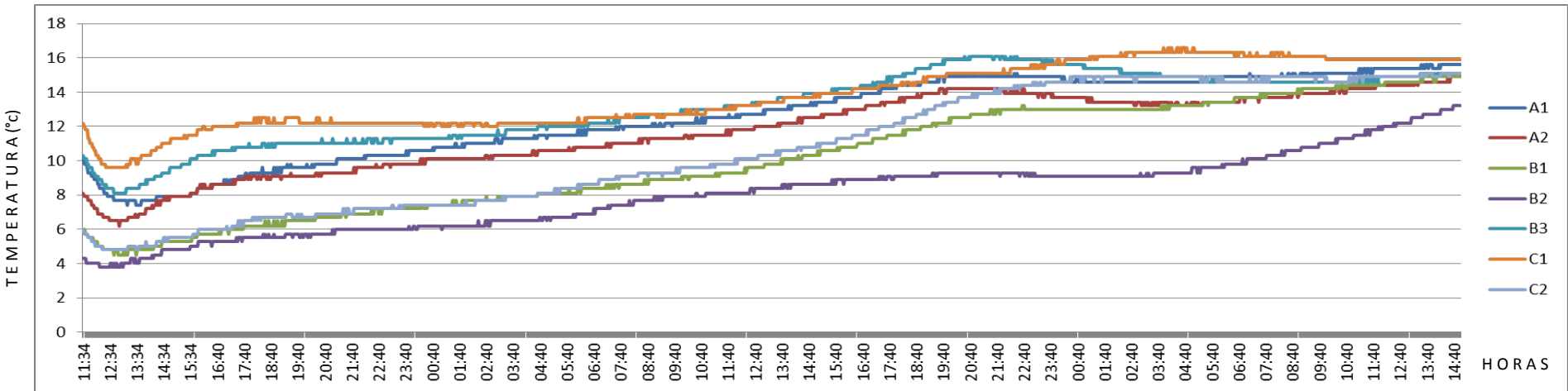
RESULTADOS			
C	=	5.9912	W/(m²*K)
λ	=	0.9167	W/(m*K)

GRAFICAS

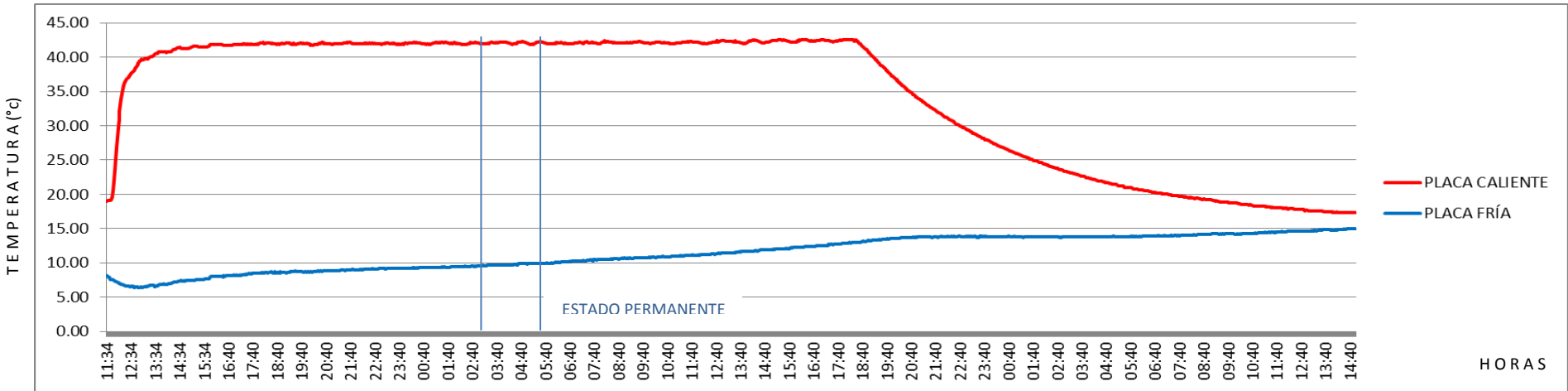
Prueba completa placa caliente



Prueba completa placa fría



Promedios



3.6.3.3 Bahareque encementado.

3.6.3.3.1 Preparación de la muestra.



Figura 3.23. Preparación de la muestra para mediciones: a. frente y detalle; b. colocación de termopares y detalles; c. montado en el equipo. (Elaboración propia)

3.6.3.3.2 Prueba completa.

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel de bahareque encementado

Numero de prueba: BECP003

Fecha: del 20 al 21 de Enero 2015

Duración 21horas 40 minutos

INICIO	22:54	HRS	Martes 20 Enero
PRENDIDO PLACA CALIENTE	23:00	HRS	Martes 20 Enero
APAGADO PLACA CALIENTE	17:40	HRS	Miercoles 21 Enero
TERMINO	20:14	HRS	Miercoles 21 Enero

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 06:30hrs y las 09:00hrs del Miércoles 21 Enero

Duración: 150min

Tabla con 10 valores estables continuos.

		TEMPERATURA EN CARAS		
FECHA	HORA	CALIENTE	FRÍA	
Miércoles/21/Enero/2015	08:34	45.26	12.54	°C
Miércoles/21/Enero/2015	08:36	45.20	12.54	°C
Miércoles/21/Enero/2015	08:38	45.26	12.57	°C
Miércoles/21/Enero/2015	08:40	45.26	12.54	°C
Miércoles/21/Enero/2015	08:42	45.26	12.54	°C
Miércoles/21/Enero/2015	08:44	45.26	12.54	°C
Miércoles/21/Enero/2015	08:46	45.26	12.54	°C
Miércoles/21/Enero/2015	08:48	45.26	12.54	°C
Miércoles/21/Enero/2015	08:50	45.21	12.54	°C
Miércoles/21/Enero/2015	08:52	45.21	12.54	°C
	PROMEDIOS	45.24	12.55	°C

CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A * \Delta T}$$

$$\lambda = P * \left(\frac{L}{A * \Delta T} \right)$$

P = 194.51 W
A = 1.00 m²
L = 0.1590 m

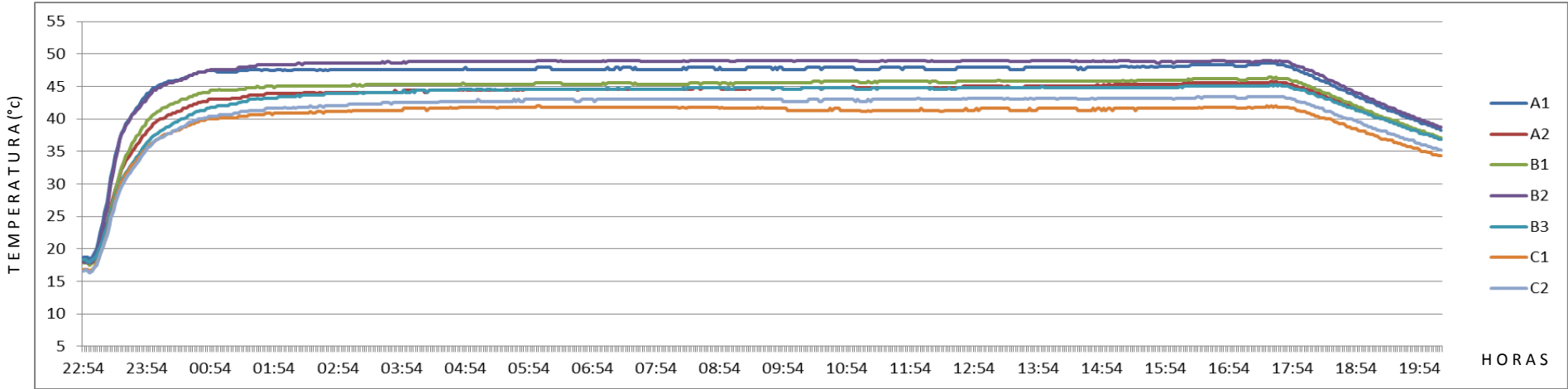
Simbología

SIMBOLO		DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	=	conductividad térmica	W/(m*K)
C	=	conductancia térmica	W/(m²*K)
P	=	potencia de la resistencia	W
A	=	area de medición	m²
L	=	separacion entre placas	m
ΔT	=	diferencial de temperatura	K

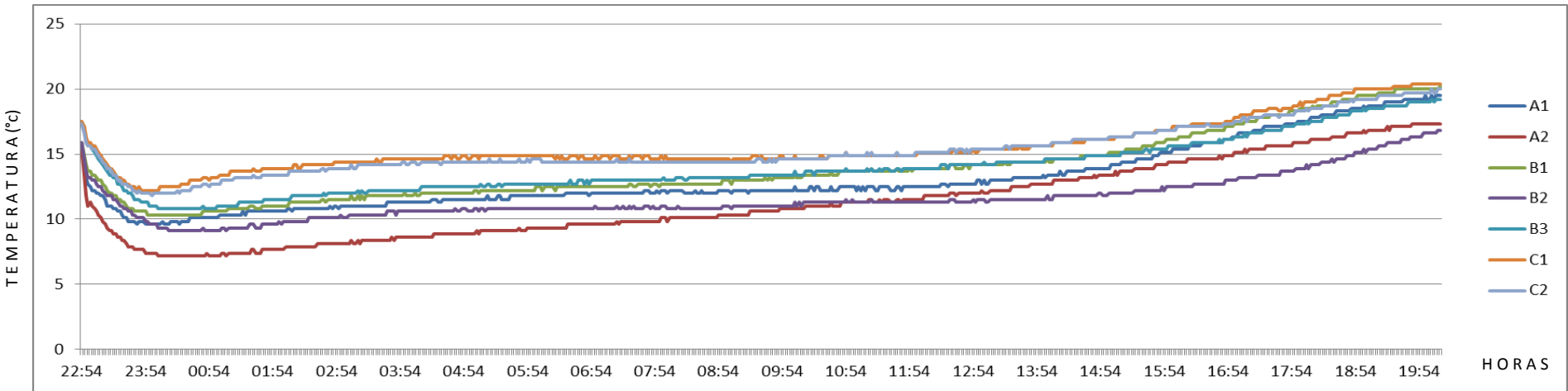
RESULTADOS			
C	=	5.9488	W/(m²*K)
λ	=	0.9459	W/(m*K)

GRAFICAS

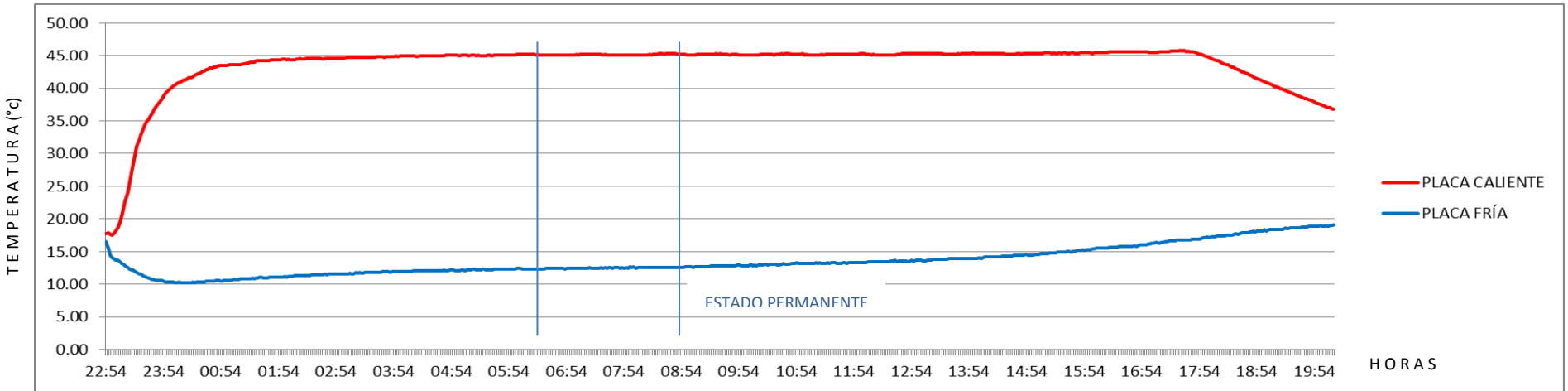
Prueba completa placa caliente



Prueba completa placa fría



Promedios



3.6.3.4 Bahareque embutido.

3.6.3.4.1 Preparación de la muestra.



Figura 3.24. Preparación de la muestra para mediciones: a. rebaje y perfilado de bambú; b. colocación de termopares; c. montado en el equipo. (Elaboración propia)

3.6.3.4.2 Prueba completa.

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel de bahareque embutido

Numero de prueba: BAEMBP001

Fecha: del 19 al 21 de Febrero 2015

Duración 39 horas 40 minutos

INICIO	18:50	HRS	Jueves 19 Febrero
PRENDIDO PLACA CALIENTE	19:00	HRS	Jueves 19 Febrero
APAGADO PLACA CALIENTE	19:00	HRS	Viernes 20 Febrero
TERMINO	10:30	HRS	Sábado 21 Febrero

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 14:10hrs y las 17:20hrs del viernes 20 de febrero.

Duración: 130min

Tabla con 10 valores estables continuos.

		TEMPERATURA EN CARAS		
FECHA	HORA	CALIENTE	FRÍA	
Viernes/20/Febrero/2015	16:42	46.54	13.34	°C
Viernes/20/Febrero/2015	16:44	46.51	13.34	°C
Viernes/20/Febrero/2015	16:46	46.51	13.34	°C
Viernes/20/Febrero/2015	16:48	46.54	13.34	°C
Viernes/20/Febrero/2015	16:50	46.54	13.34	°C
Viernes/20/Febrero/2015	16:52	46.51	13.34	°C
Viernes/20/Febrero/2015	16:54	46.60	13.34	°C
Viernes/20/Febrero/2015	16:56	46.60	13.34	°C
Viernes/20/Febrero/2015	16:58	46.60	13.34	°C
Viernes/20/Febrero/2015	17:00	46.60	13.34	°C
	PROMEDIOS	46.56	13.34	°C

CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A * \Delta T}$$

$$\lambda = P * \left(\frac{L}{A * \Delta T} \right)$$

P = 194.51 W
A = 1.00 m²
L = 0.1560 m

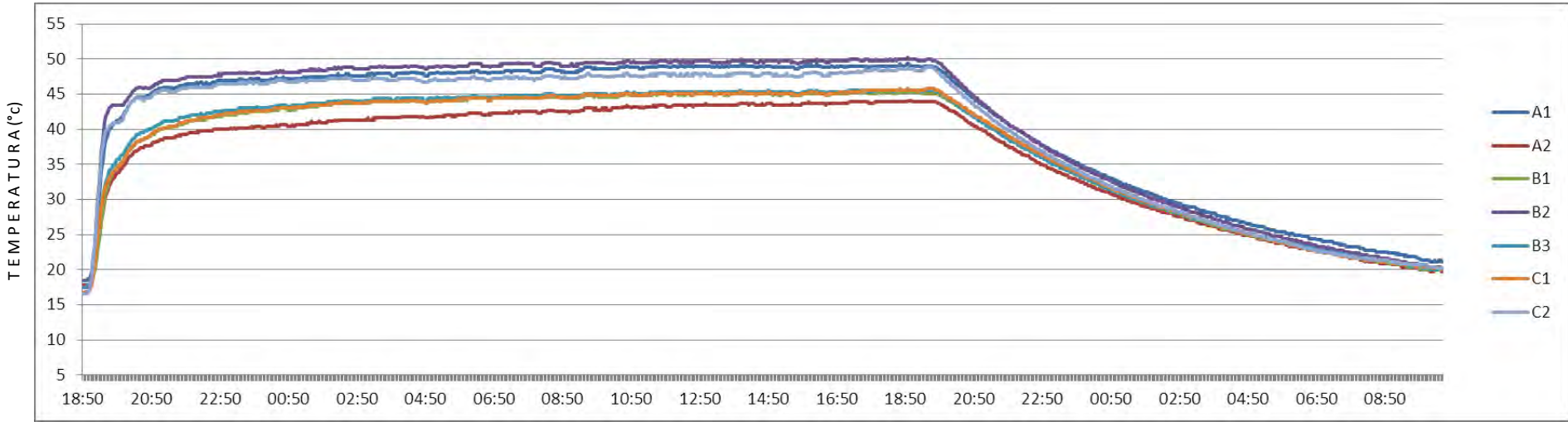
Simbología

SIMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

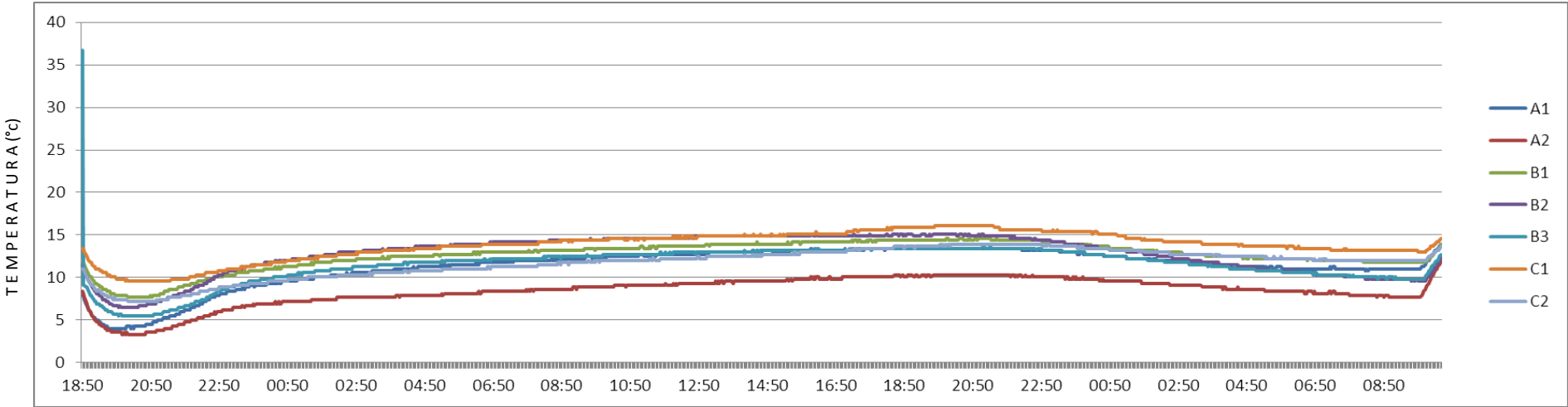
C	=	5.8562	W/(m²*K)
λ	=	0.9136	W/(m*K)

GRAFICAS

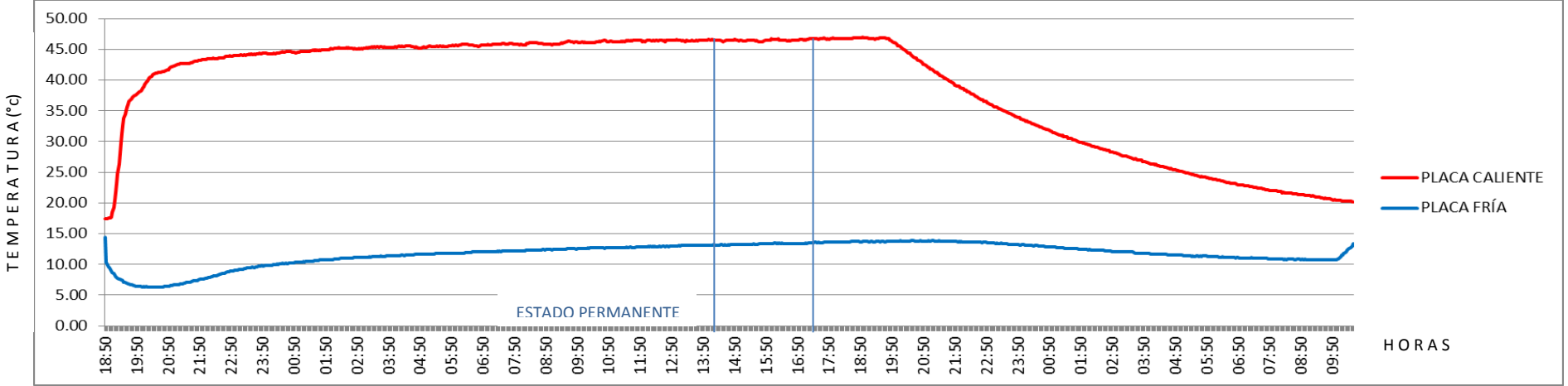
Prueba completa placa caliente



Prueba completa placa fría



Promedios



3.7 Procedimiento y resultados de pruebas calor específico.

3.7.1 Descripción del método experimental.

Para la obtención de este coeficiente fue necesario hacer una variante al método antes descrito, bajo el asesoramiento de expertos en la materia. Dicha variante fue eliminar las bolsas de gel refrigerante de la placa fría y en su lugar colocar una capa más eficiente de aislante en esa cara de la muestra. Lo anterior es con el propósito de que la energía calórica aportada por la placa caliente se almacene en toda la masa que posee la muestra y de ese modo se puedan obtener diferenciales de temperatura más óptimos para la fórmula utilizada.

Es necesario mencionar en esta parte de la experimentación que el aparato diseñado y descrito en el capítulo 4.5, fue construido y adecuado a las necesidades de las pruebas para obtención de conductividad y no de calor específico. El aparato necesario para este fin se llama calorímetro y requiere de otros ajustes y condiciones diferentes. Sin embargo, una aproximación muy certera puede ser alcanzada con este método a falta del equipo calorímetro.

A continuación se presentan los resultados de las pruebas realizadas a cada una de las muestras cuyas pruebas de conductividad y conductancia fueron anteriormente descritas. Con las modificaciones a las pruebas realizadas se obtuvieron distintas gráficas de incremento de temperatura y por ende la forma de analizarlas debe ser distinta para conseguir los datos buscados.

La fórmula utilizada para los cálculos de calor específico es como se muestra a continuación:

$$C_p = \frac{I_v \times P}{M (T_t - T_{t-1})}$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
C_p	= Calor específico	J/kg °C
I_v	= Intervalo de medición	seg
P	= potencia de la resistencia	J/seg
M	= masa de la muestra	kg
T_t	= temp en un tiempo	°C
T_{t-1}	= temp en un tiempo anterior	°C

Donde la resta de $(T_t - T_{t-1})$ es un diferencial de temperatura presentado durante la prueba promediando los datos de la cara expuesta a la placa caliente con la de la placa fría. Las primeras aproximaciones a este cálculo se tomaron durante el tiempo de calentamiento inicial pero con tiempos tomados al azar para identificar un comportamiento. Esto resulto en datos

muy erráticos, por lo cual se prosiguió a considerar las modas presentadas en las diferenciales de temperatura de la línea promedio.

Lo que se observó de esta aproximación utilizando las modas, es que las diferenciales presentan valores constantes en todas las pruebas realizadas. Esto se atribuye al rango de toma de datos de los módulos Adams o del programa LabView. Ya que como cualquier otro instrumento de adquisición de datos tiene rangos de medición, repetibilidad y precisión establecidas desde su manufactura. Los datos que se repitieron en todas las pruebas de todas las muestras se presentan en la Tabla 3.3. El analizarlas por separado y usarlas en la fórmula proporciona datos erráticos, pero al relacionarlas una con otra se observa que son múltiplos de cada una, lo que refuerza el atribuir al rango de datos esta repetición.

Diferenciales	Relación
0.014285714	1.000000
0.021428571	1.500000
0.028571429	2.000000
0.035714286	2.500000
0.042857143	3.000000
0.05	3.500000
0.057142857	4.000000
0.064285714	4.500000
0.078571429	5.500000
0.085714286	6.000000
0.092857143	6.500000
0.107142857	7.500000

Tabla 3.3 Diferenciales de temperatura observados en todas las pruebas de calor específico. (Elaboración propia)

Por último se realizó un tercer análisis con datos mucho más estables. Este consistió en realizar promedios de las diferenciales presentadas en la prueba cada 5 minutos desde el encendido de la placa caliente hasta los primeros 30 minutos de la prueba. Este tiempo se consideró debido a que es el tiempo en que toda la energía se almacena en la muestra y pasando este punto el calor fluye mucho más rápido de una cara a la otra para disiparse al ambiente.

3.7.2 Resultados de pruebas a muestras

Con este análisis se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación para cada muestra sometida a pruebas.

3.7.2.1 Prueba de calibración (Tablaroca núcleo regular)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel de tablaroca núcleo regular 27mm

Numero de prueba: TRNRCP002

Fecha: del 3 Febrero 2015

Duración 50 minutos

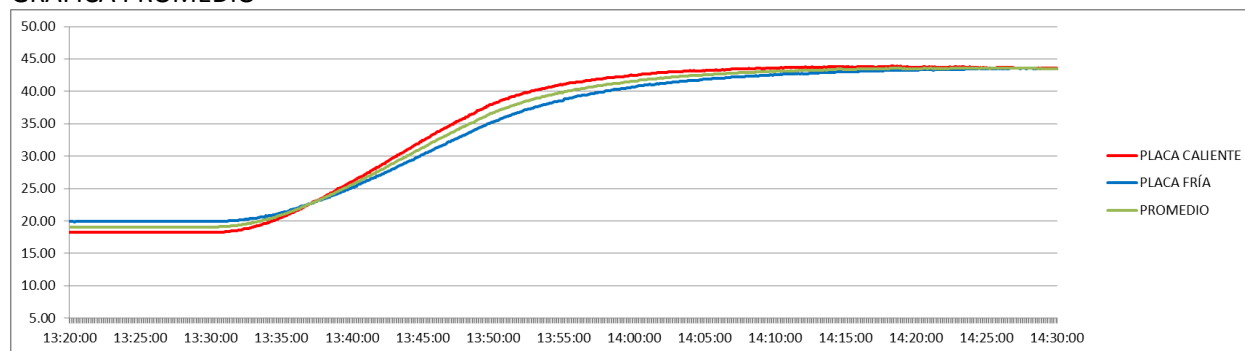
MEDICIONES

Intervalo de medición @ 5 segundos

Intervalo de calentamiento: de 13:35 a 14:20hrs duración 45min

Ventana para datos: 13:35 a 13:50hrs duración 15min

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

$$C_p = \frac{I_v \times P}{M (T_t - T_{t-1})}$$

SIMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
C_p	= Calor específico	J/kg °C
I_v	= Intervalo de medición	seg
P	= potencia de la resistencia	J/seg
M	= masa de la muestra	kg
T_t	= temp en un tiempo	°C
T_{t-1}	= temp en un tiempo anterior	°C

Valores

$I_v = 5.00\text{seg}$

$P = 194.51\text{ J/seg}$

$M = 7.70\text{kg}$

CALCULO promedio							
	a cada 5 min del intervalo		de las	13:30	a	14:00	
1	$T_t - T_{t-1}$	=	0.03033	C_p	=	4164.37	J/kg °C
2	$T_t - T_{t-1}$	=	0.07763	C_p	=	1627.02	J/kg °C
3	$T_t - T_{t-1}$	=	0.09485	C_p	=	1331.63	J/kg °C
4	$T_t - T_{t-1}$	=	0.08993	C_p	=	1404.48	J/kg °C
5	$T_t - T_{t-1}$	=	0.12143	C_p	=	1040.15	J/kg °C
6	$T_t - T_{t-1}$	=	0.13571	C_p	=	930.70	J/kg °C

3.7.2.2 Pruebas a muestras de bambú

3.7.2.2.1 Bahareque de pared única

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Placa bambú sistema bahareque pared única

Numero de prueba: BHPUCP002

Fecha: del 13 Febrero 2015

Duración 5 horas con 45 minutos

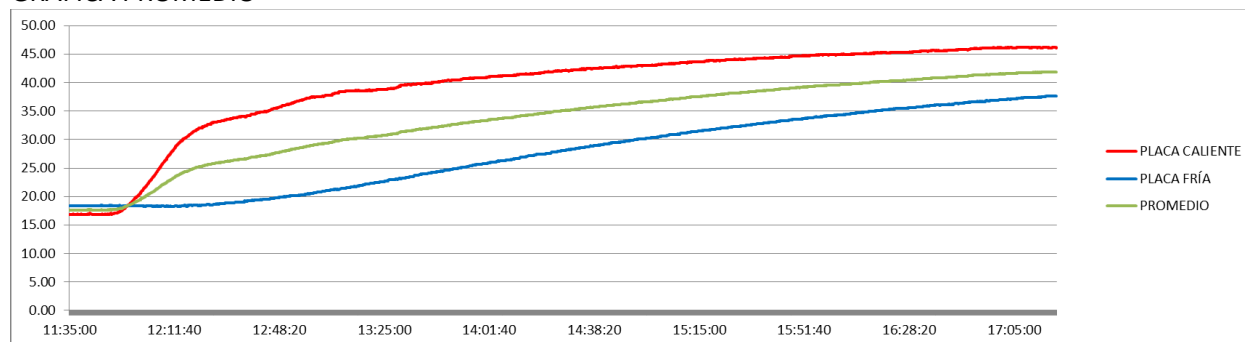
MEDICIONES

Intervalo de medición @ 5 segundos

Intervalo de calentamiento: de 11:50 a 13:10hrs duración 80min

Ventana para datos: 11:50 a 12:20hrs duración 30min

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

$$C_p = \frac{I_v \times P}{M (T_t - T_{t-1})}$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
C_p	= Calor específico	J/kg °C
I_v	= Intervalo de medición	seg
P	= potencia de la resistencia	J/seg
M	= masa de la muestra	kg
T_t	= temp en un tiempo	°C
T_{t-1}	= temp en un tiempo anterior	°C

Valores
 $I_v = 5.00\text{seg}$
 $P = 194.51\text{ J/seg}$
 $M = 72.50\text{ kg}$

CALCULO promedio							
a cada 5 min del intervalo				de las	11:45 a	12:35	
1	$T_t - T_{t-1}$	=	0.01077		C_p	=	1245.54 J/kg °C
2	$T_t - T_{t-1}$	=	0.02002		C_p	=	670.05 J/kg °C
3	$T_t - T_{t-1}$	=	0.02529		C_p	=	530.43 J/kg °C
4	$T_t - T_{t-1}$	=	0.02377		C_p	=	564.35 J/kg °C
5	$T_t - T_{t-1}$	=	0.01475		C_p	=	909.46 J/kg °C
6	$T_t - T_{t-1}$	=	0.00972		C_p	=	1380.09 J/kg °C

3.7.2.2.2 Bahareque de doble pared

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Placa bambú sistema bahareque doble pared

Numero de prueba: BHDPCP002

Fecha: del 7 Febrero 2015

Duración 4 horas con 10 minutos

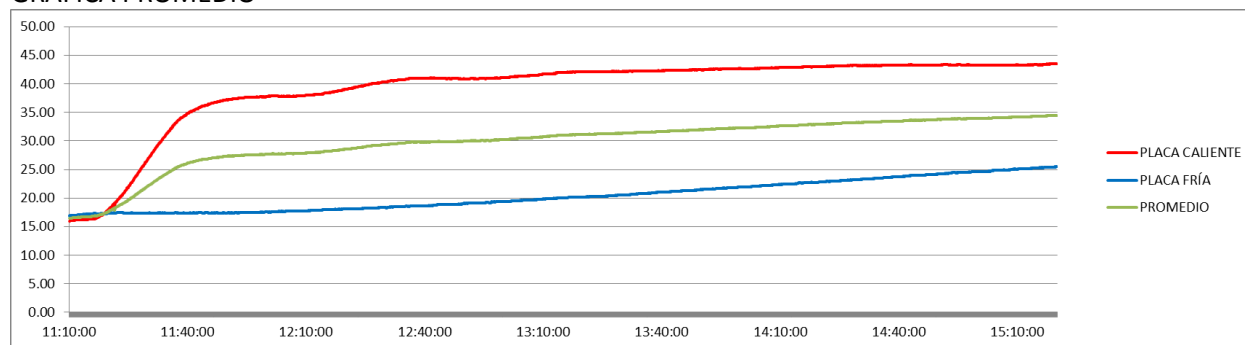
MEDICIONES

Intervalo de medición @ 5 segundos

Intervalo de calentamiento: de 11:15 a 12:20hrs duración 55min

Ventana para datos: 11:15 a 11:45hrs duración 30min

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

$$C_p = \frac{I_v \times P}{M (T_t - T_{t-1})}$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
C_p	= Calor específico	J/kg °C
I_v	= Intervalo de medición	seg
P	= potencia de la resistencia	J/seg
M	= masa de la muestra	kg
T_t	= temp en un tiempo	°C
T_{t-1}	= temp en un tiempo anterior	°C

Valores

$I_v = 5.00\text{seg}$

$P = 194.51\text{ J/seg}$

$M = 85.50\text{ kg}$

CALCULO promedio						
	a cada 5 min del intervalo		de las	11:20 a	12:30	
1	$T_t - T_{t-1} =$	0.03267		$C_p =$	348.18	J/kg °C
2	$T_t - T_{t-1} =$	0.04204		$C_p =$	270.59	J/kg °C
3	$T_t - T_{t-1} =$	0.03806		$C_p =$	298.90	J/kg °C
4	$T_t - T_{t-1} =$	0.02799		$C_p =$	406.45	J/kg °C
5	$T_t - T_{t-1} =$	0.01253		$C_p =$	907.86	J/kg °C
6	$T_t - T_{t-1} =$	0.00761		$C_p =$	1494.48	J/kg °C

3.7.2.2.3 Bahareque encementado

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Placa bambú sistema bahareque encementado

Numero de prueba: BHENCP001

Fecha: del 19 Marzo 2015

Duración 2 horas con 55 minutos

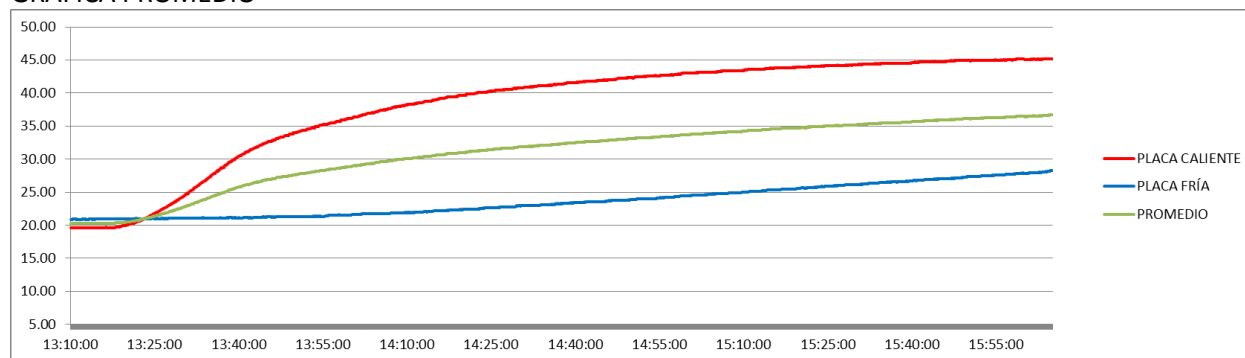
MEDICIONES

Intervalo de medición @ 5 segundos

Intervalo de calentamiento: de 13:20 a 14:10hrs duración 50min

Ventana para datos: 13:20 a 13:50 hrs duración 30min

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

$$C_p = \frac{I_v \times P}{M (T_t - T_{t-1})}$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
C_p	= Calor específico	J/kg °C
I_v	= Intervalo de medición	seg
P	= potencia de la resistencia	J/seg
M	= masa de la muestra	kg
T_t	= temp en un tiempo	°C
T_{t-1}	= temp en un tiempo anterior	°C

Valores
 $I_v = 5.00 \text{ seg}$
 $P = 194.51 \text{ J/seg}$
 $M = 84.90 \text{ kg}$

CALCULO promedio						
	a cada 5 min del intervalo		de las	13:20 a	13:50	
1	$T_t - T_{t-1} =$	0.01487		$C_p =$	770.30	J/kg °C
2	$T_t - T_{t-1} =$	0.02272		$C_p =$	504.27	J/kg °C
3	$T_t - T_{t-1} =$	0.02564		$C_p =$	446.70	J/kg °C
4	$T_t - T_{t-1} =$	0.01897		$C_p =$	603.88	J/kg °C
5	$T_t - T_{t-1} =$	0.01300		$C_p =$	881.33	J/kg °C
6	$T_t - T_{t-1} =$	0.01042		$C_p =$	1099.19	J/kg °C

3.7.2.2.4 Bahareque embutido

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Placa bambú sistema bahareque embutido

Numero de prueba: BHEMCP002

Fecha: del 17 Marzo 2015

Duración 5 horas con 15 minutos

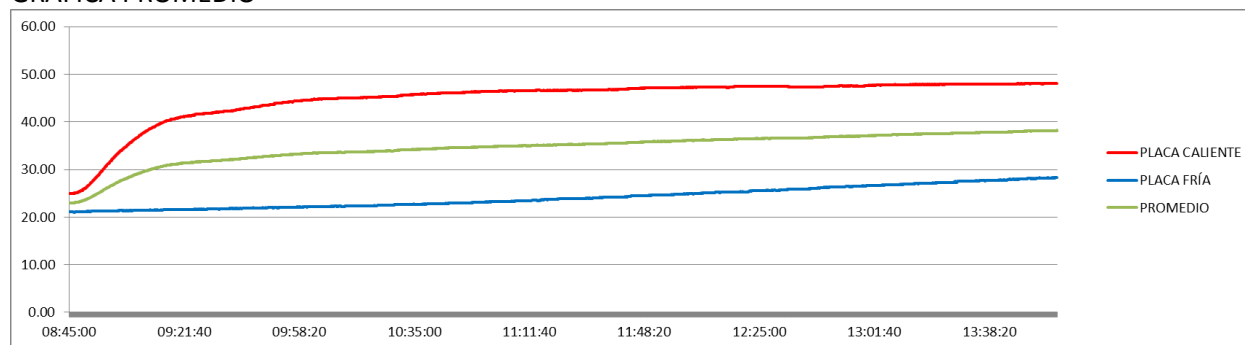
MEDICIONES

Intervalo de medición @ 5 segundos

Intervalo de calentamiento: de 8:45 a 10:20hrs duración 95min

Ventana para datos: 8:45 a 9:15 hrs duración 30min

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

$$C_p = \frac{I_v \times P}{M (T_t - T_{t-1})}$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
C_p	= Calor específico	J/kg °C
I_v	= Intervalo de medición	seg
P	= potencia de la resistencia	J/seg
M	= masa de la muestra	kg
T_t	= temp en un tiempo	°C
T_{t-1}	= temp en un tiempo anterior	°C

Valores

$I_v = 5.00\text{seg}$

$P = 194.51\text{ J/seg}$

$M = 108.20\text{ kg}$

CALCULO promedio						
	a cada 5 min del intervalo		de las	08:45 a	09:20	
1	$T_t - T_{t-1} =$	0.01060		$C_p =$	848.35	J/kg °C
2	$T_t - T_{t-1} =$	0.02787		$C_p =$	322.53	J/kg °C
3	$T_t - T_{t-1} =$	0.02471		$C_p =$	363.80	J/kg °C
4	$T_t - T_{t-1} =$	0.01932		$C_p =$	465.22	J/kg °C
5	$T_t - T_{t-1} =$	0.01546		$C_p =$	581.53	J/kg °C
6	$T_t - T_{t-1} =$	0.00785		$C_p =$	1145.69	J/kg °C

3.8 Pruebas de termografía a muestras.

Como trabajo complementario durante la realización de las pruebas de calor específico se tomaron imágenes termográficas de las muestras durante un proceso de calentamiento gradual. La prueba consistió en activar la placa caliente con el mismo armado que las pruebas de calor específico, cubriendo la muestra con la bandeja de aluminio, la placa de poliestireno y una cama de aislante de lana de vidrio. Cada treinta minutos transcurrida la prueba se retiraron las cubiertas aislantes por unos segundos, solo lo necesario para tomar la termográfica desde una altura de 2.90m y se volvieron a colocar sobre la muestra para evitar que perdiera su calor acumulado.

La intención de este experimento fue observar gráficamente la progresión de la energía térmica en la masa de la muestra durante el tiempo que eran sometidas a las pruebas, con el fin de identificar el comportamiento del bambú dentro de la transmisión de calor total del sistema.

El equipo empleado para la evaluación de termografía fue una cámara termográfica de infrarrojos FLUKE Modelo Ti25. Su rango de medida de temperaturas es de -20°C a +350°C, y su precisión es de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ o 2%. Gracias a las opciones que provee este equipo, se puede realizar una corrección de la emisividad del objeto medido, con el fin de obtener lecturas más acertadas. En este caso se hizo una corrección a una emisividad de 0,85 que corresponde al barro en estado seco o cocido.

Como anteriormente se ha realizado, a continuación se presenta el resultado de todas las pruebas a las cuatro muestras analizadas de sistemas constructivos de bambú

En todos los casos se observa una distribución continua de calor sobre las muestras, en ciertas muestras se presenta este cambio más rápido que en otras. Esto es debido a su masa y propiedades del armado de las mismas.

En la muestra de bambú bahareque pared única fue posible tomar acercamientos del bambú diagonal de la muestra, donde se observa el cambio de temperatura con su entorno y el puente térmico que existe ente este y el barro. Así mismo se observa la cámara de aire contenida dentro del canuto del bambú a una temperatura superior que la superficie de entorno.

3.8.1 Bahareque de pared única

Prueba realizada el 11 de Febrero de 2015 de las 10:00 am a las 2:30pm.

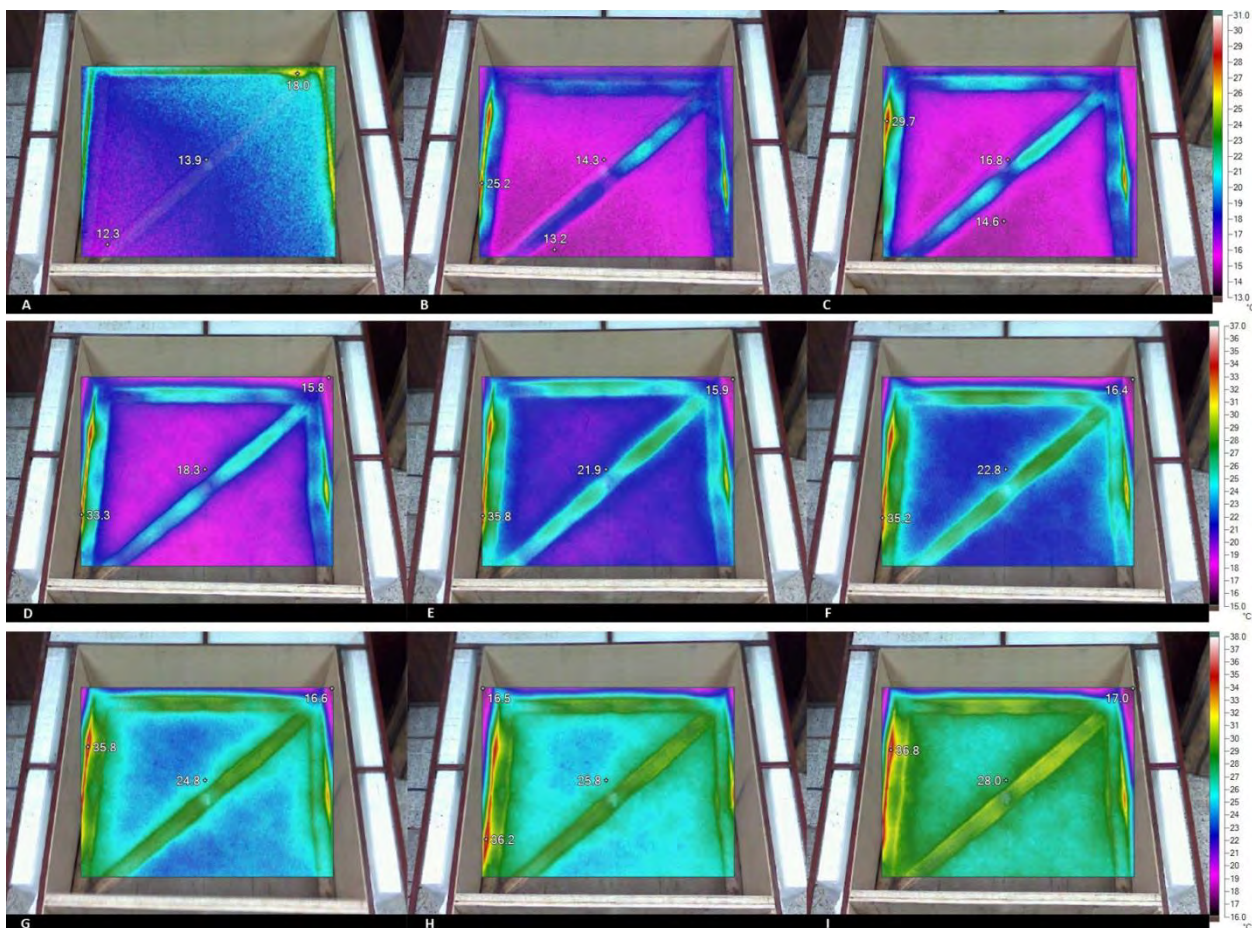


Figura 3.25 Secuencia de termografías panel bambú bahareque pared única; a. 10:30am, b. 11:00am, c. 11:30am, d. 12:00pm, e. 12:30pm, f. 1:00pm, g. 1:30pm, h. 2:00pm, i. 2:30pm (Elaboración propia).

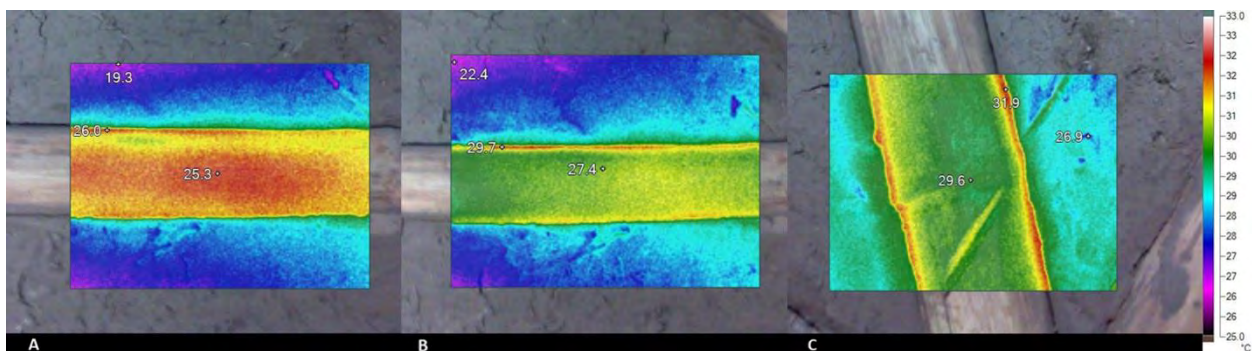


Figura 3.26 Detalles de bambú central; a. 11:30am, b. 12:30pm, c. 2:30pm (Elaboración propia).

3.8.2 Bahareque de doble pared

Prueba realizada el 10 de Febrero de 2015 de las 6:30pm a las 9:30pm.

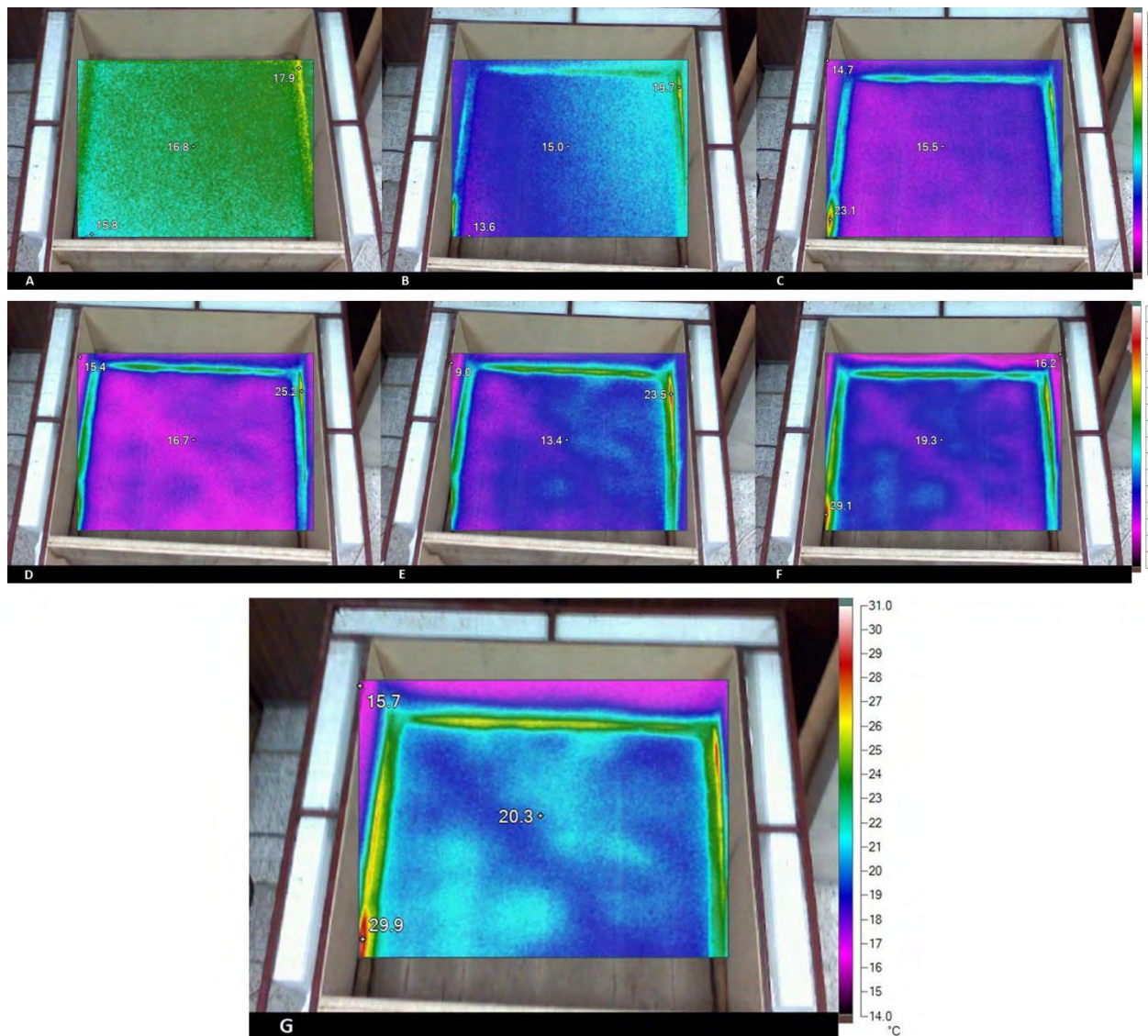


Figura 3.27 Secuencia de termografías panel bambú bahareque doble pared; a. 6:30pm, b. 7:00pm, c. 7:30pm, d. 8:00pm, e. 8:30pm, f. 9:00pm, g. 9:30pm (Elaboración propia).

En el caso de esta muestra se observa una progresión mucho más lenta que en el caso de la muestra anterior. La temperatura al centro de la muestra antes de iniciar la prueba es de 16.8°C y al finalizar 3 horas después es de 20.3°C. En el caso anterior del panel bahareque pared única la temperatura de inicio fue de 13.9°C y termino 28.0°C.

3.8.3 Bahareque encementado

Prueba realizada el 18 de Marzo de 2015 de las 6:30pm a las 10:30pm.

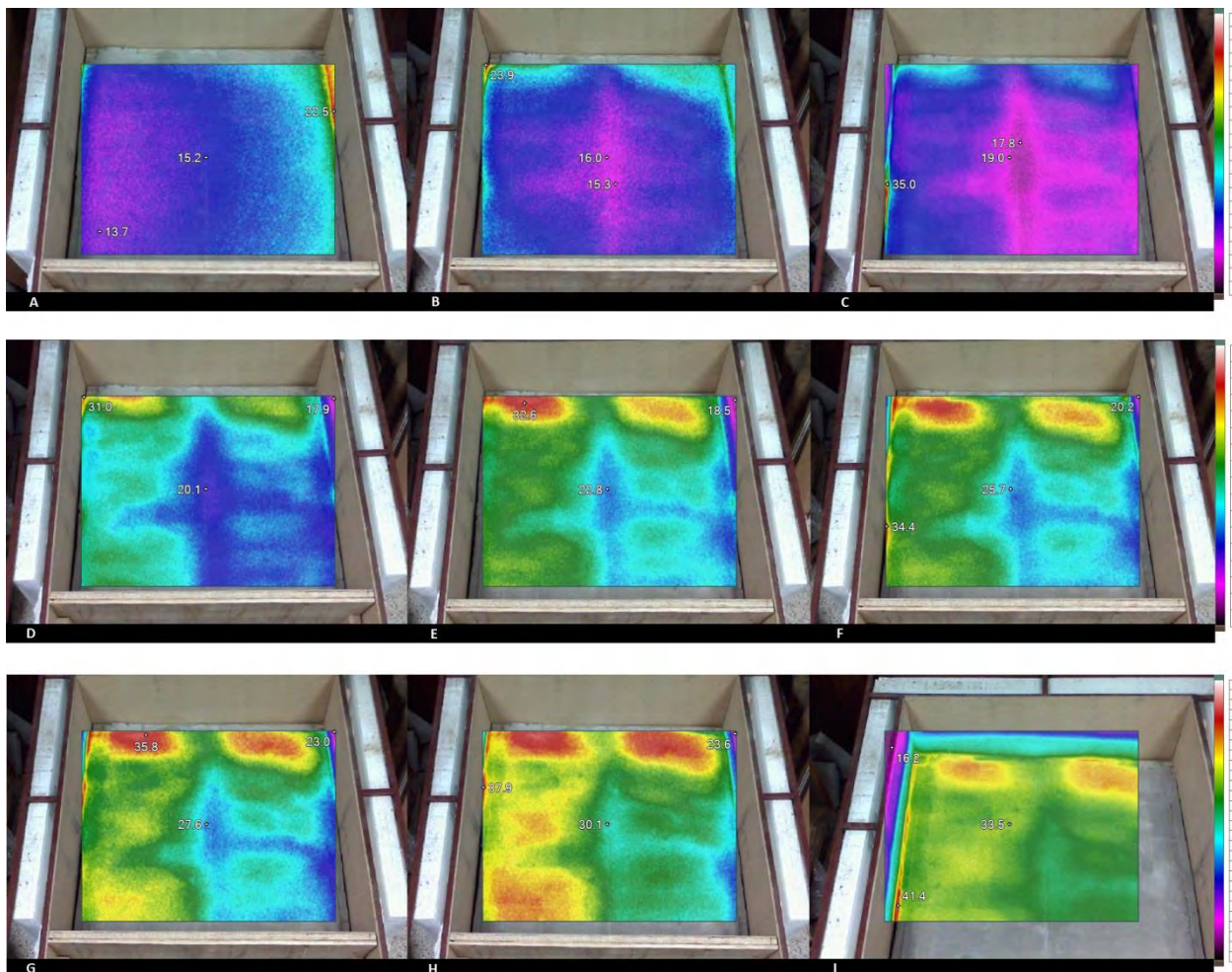


Figura 3.28 Secuencia de termografías panel bambú bahareque encementado; a. 6:30pm, b. 7:00pm, c. 7:30pm, d. 8:00pm, e. 8:30pm, f. 9:00pm, g. 9:30pm, h. 10:00pm, i. 10:30pm (Elaboración propia).

La muestra presentó una temperatura inicial de 15.2°C al centro de su superficie y al término del experimento se obtuvo una lectura de 33.5°C. En la tercera toma de termografía se observa claramente el bambú colocado en el medio de la muestra. Conforme avanza la distribución de energía se observan en la parte superior dos manchas de temperatura mayor en lo que realmente sería la base de la muestra, esto se debe a residuos que quedan dentro del sistema al realizar los aplanados de cemento en ambas caras.

3.8.4 Bahareque embutido

Prueba realizada el 18 de Marzo de 2015 de las 9:30am a las 1:30pm.

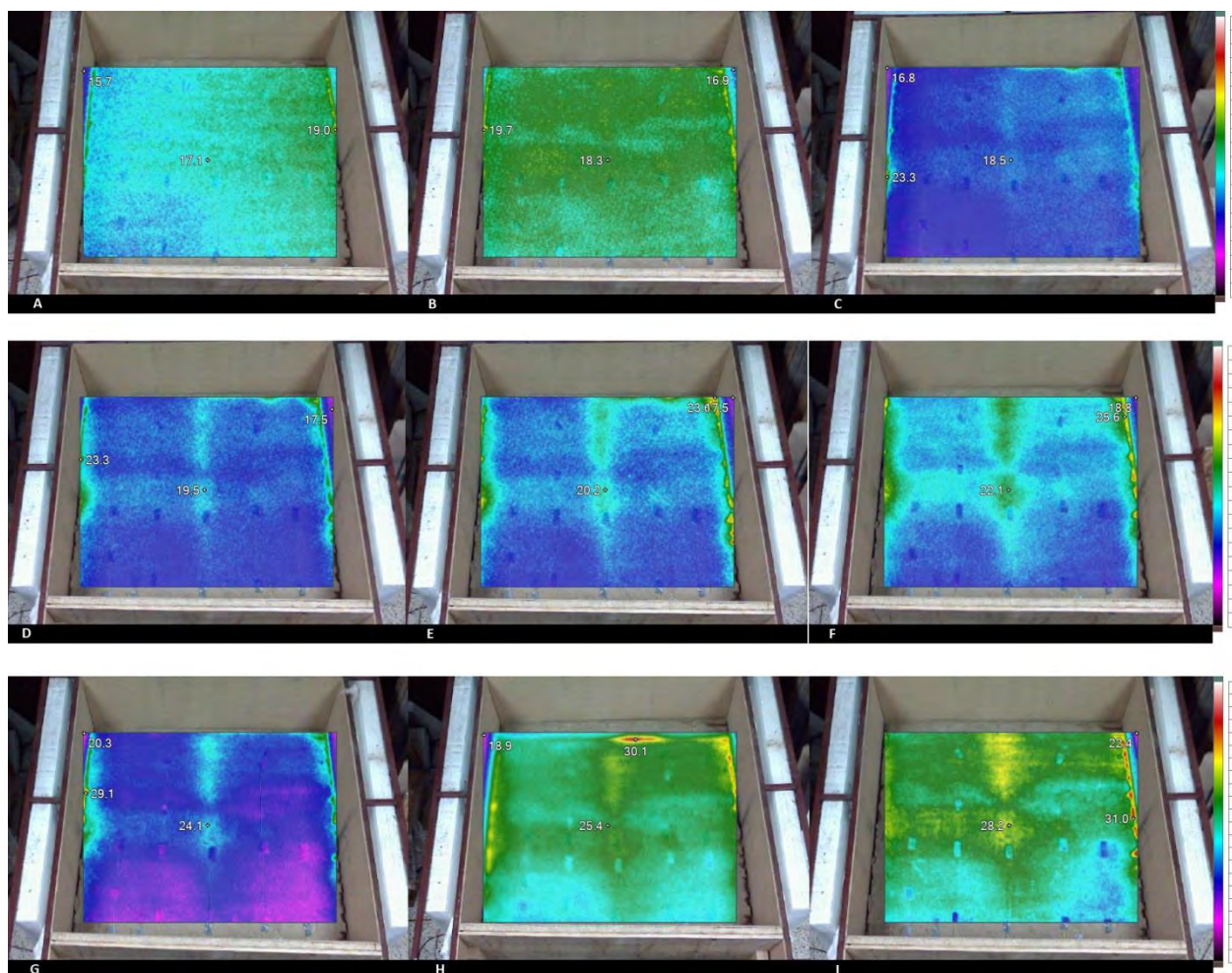


Figura 3.29 Secuencia de termografías panel bambú bahareque embutido; a. 9:30am, b. 10:00am, c. 10:30am, d. 11:00am, e. 11:30am, f. 12:00pm, g. 12:30pm, h. 1:00pm, i. 1:30pm (Elaboración propia).

Debido a que este sistema presenta una masa superior al menos por un 40% de los demás sistemas analizados su flujo de calor se presentó más lento durante la prueba y la estructura de bambú central empezó a mostrarse hasta la quinta termografía. La temperatura de inicio al centro de la muestra fue de 17.1°C y la final de 28.2°C. Es de notar que la distribución de calor es la más uniforme presentada de todas las muestras y con los menores puentes térmicos. De nuevo se atribuye a las propiedades del sistema y a su procedimiento constructivo.

3.9 Resultados obtenidos

En este subcapítulo se presentan los resultados de conductividad, conductancia, densidad y calor específico de todas las pruebas realizadas a las muestras de calibración y de los sistemas constructivos basados en bambú. Así mismo cálculos derivados de estos coeficientes son presentados para reforzar la caracterización térmica de los sistemas. Utilizando los valores de las tres propiedades antes descritas (conductividad, calor específico y densidad) se pueden realizar cálculos térmicos sencillos en estado estable. Para cálculos dinámicos que dependientes del tiempo o en estado transitorio es necesario considerar otras propiedades de los materiales, que son productos de las primeras tres propiedades: calor específico volumétrico, difusividad térmica y efusividad térmica.

El calor específico volumétrico (c_{ev}) expresa la capacidad de un material de almacenar calor y se define como el producto del calor específico por la densidad del material:

$$c_{ev} = \rho \cdot C_p$$

Sus unidades son $J/m^3 K$. Mientras que el calor específico se basa en la masa del material, el calor específico volumétrico depende del volumen de este.

La difusividad térmica (α) expresa la capacidad de un material de conducir la energía térmica con relación a su capacidad de almacenarla. Está definida por el cociente de la conductividad entre el calor específico volumétrico, y sus unidades son m^2/s :

$$\alpha = k / (\rho \cdot C_p)$$

La efusividad térmica (β) indica la capacidad del material de intercambiar calor con su entorno, absorber o desprender energía calorífica. Se define por la raíz cuadrada del producto de la conductividad por el calor específico volumétrico, sus unidades son $J/m^2 Ks^{1/2}$.

$$\beta = \sqrt{k \cdot \rho \cdot C_p}$$

El retardo térmico de un material se comprende como el desfase horario que presenta un sistema constructivo ante los máximos y mínimos presentados al comparar las temperaturas externas e internas de una edificación.

Este retardo térmico se puede calcular de manera aproximada, mediante la siguiente ecuación simplificada:

$$\phi = 0.02303 * b \sqrt{1/\alpha}$$

La resistencia térmica y el coeficiente global de conductividad térmica „U” son así mismo valores útiles para la caracterización térmica de un material y se definen como el espesor entre la conductividad térmica en el caso de la resistencia y el inverso de esta en el caso del coeficiente global de conductividad térmica „U”. Sus unidades son para la resistencia: m² °C/W; y para coeficiente „U”: W / m² °C

$$R = b / \lambda$$

$$U = 1 / R$$

La nomenclatura utilizada para presentar los valores medidos y calculados en la siguiente tabla resumen es la siguiente para las muestras:

BAMBU1. Sistema Bahareque de pared única.

BAMBU2. Sistema Bahareque de doble pared

BAMBU3. Sistema Bahareque encementado.

BAMBU4. Sistema Bahareque embutido.

Y para los coeficientes medidos y calculados es la siguiente:

SIMBOLO	COEFICIENTE	UNIDADES
C	Conductancia térmica	W/(m ² *K)
λ	Conductividad térmica	W/(m*K)
ρ	Densidad	kg/m ³
Cp	Calor específico	J/kg K
E	Espesor de la muestra	m
R	Resistencia térmica	m ² °C/W
U	Coeficiente global de conductividad térmica	m ² °C/W
cev	Calor específico volumétrico	J/m ³ K
α	Difusividad térmica	m ² /s (x10 ⁻⁶)
β	Efusividad térmica	J/m ² Ks ^{1/2}
ϕ	Retardo térmico	hrs

TABLA DE RESULTADOS COEFICIENTES MEDIDOS

SISTEMA	C	λ	p	Cp	E
BAMBU1	8.7878	0.8963	710.78	1380.09	0.1020
BAMBU2	6.0524	0.9260	558.82	1494.48	0.1530
BAMBU3	6.0381	0.9601	533.96	1099.19	0.1590
BAMBU4	5.5737	0.8695	693.06	1145.69	0.1560

Tabla 3.4 Resultados coeficientes medidos. (Elaboración propia)

TABLA DE RESULTADOS COEFICIENTES CALCULADOS

SISTEMA	R	U	cev	α	β	ϕ
BAMBU1	0.114	8.788	980940	9.137	937.683	2.457
BAMBU2	0.165	6.052	835145	1.109	879.408	3.346
BAMBU3	0.166	6.038	586923	1.636	750.654	2.863
BAMBU4	0.179	5.574	794032	1.095	830.919	3.433

Tabla 3.5 Resultados coeficientes calculados. (Elaboración propia)

4. Comparativa de sistemas con Ener-Habitat

4.1 Herramienta de simulación numérica Ener-Habitat

Ener-Habitat es una herramienta de acceso gratuito vía internet diseñada para la evaluación numérica de sistemas constructivos multicapas de muro o techo de una envolvente arquitectónica ubicada en los climas de las principales ciudades de la República Mexicana. Estimar el ahorro de energía por el uso adecuado de sistemas constructivos en condiciones climáticas de alta oscilación y significativa radiación solar debe ser realizado bajo un modelo basado en un análisis de transferencia de calor dependiente del tiempo. Este análisis puede ser realizado en programas como Energy Plus, Design Builder o Transys pero se requiere de una gran cantidad de datos de ingreso y de usuarios con conocimiento especializado, además que no permiten evaluar de manera separada los sistemas constructivos. Es por esto que se desarrolló una herramienta numérica simple para evaluar por separado sistemas constructivos de muros y techos de la envolvente, la cual requiere menos datos y es más sencilla de usar e interpretar (Huelsz, 2012).

La herramienta se encuentra disponible en el sitio web www.enerhabitat.unam.mx, su registro y uso son gratuitos y con definir unos simples parámetros se pueden realizar las simulaciones. Ener-Habitat evalúa el desempeño térmico de sistemas constructivos de capas homogéneas y algunos sistemas formados por capas homogéneas y una capa no homogénea. Los sistemas constructivos son analizados en dos condiciones de la edificación, con aire acondicionado o sin aire acondicionado. Con aire acondicionado el principal parámetro de comparativa es la carga térmica por unidad de área debida a la transferencia de calor por el sistema constructivo. Sin aire acondicionado la energía térmica que entra a la edificación por unidad de área del sistema constructivo es el parámetro principal.

Es de notar que el análisis proporcionado solo evalúa la transferencia de calor por unidad de área del sistema constructivo en muro o techo y no toma en cuenta otros factores de la transferencia de calor en una edificación como son, ventilación, usuarios y equipos. Sus resultados no podrán ser usados para un dimensionamiento de un sistema de aire acondicionado. Más proporcionan datos relevantes al momento de seleccionar los posibles sistemas a utilizar en un edificio diseñado en un clima y orientación específicos o para comparar diversos sistemas entre ellos y sus posibles usos.

4.2 Parámetros de evaluación

Para realizar las comparativas entre los sistemas caracterizados en este estudio se tomará la misma nomenclatura otorgada en el capítulo 4.9, con el fin de identificarlos en las corridas realizadas por Ener-Habitat. Los parámetros para realizar las simulaciones en la herramienta son los siguientes: Sistemas con capas homogéneas o con una capa no homogénea; Lugar: Ciudad a elegir; Periodo: Anual o mensual; Condición: Con o sin aire acondicionado; Ubicación: Techo o muro; Número de sistemas constructivos: Hasta un máximo de 5. Las figuras 4.1 y 4.2 muestran las ventanas de acceso de datos hasta esta etapa, una vez ingresado usuario y clave de acceso.

Ener-Habitat
EVALUACIÓN TÉRMICA DE LA ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA

¿Qué es? ¿Cómo se usa? ¿Quiénes somos? Contacto

Ener-Habitat permite la evaluación de sistemas constructivos formados por capas homogéneas y algunos sistemas constructivos formados por capas homogéneas y una capa no homogénea.

Una capa homogénea es aquella que tiene un solo material y no tiene huecos de aire. Por ejemplo: la capa de concreto de una losa de concreto, la capa de cualquier acabado, la capa de un material aislante que cubre todo el muro o techo.

Una capa no homogénea es aquella que tiene dos o más materiales o presenta huecos de aire en su interior. Por ejemplo: el bloque hueco de concreto, la viga y bovedilla hueca de concreto, la viga y bovedilla de poliestireno.

Las capas no homogéneas que esta versión de **Ener-Habitat** puede evaluar son para muros: bloque simétrico de 2 huecos de aire y bloque simétrico de 2 huecos rellenos.

Selección de tipo de sistema constructivo

☒ Sistemas con capas homogéneas
☐ Sistemas con una capa no homogénea

Continuar

Ener-Habitat v2.2.0 2014

Esta página funciona mejor en Firefox y Chrome

Logos: IER, FADU, cenidet, CONACYT, etc.

Figura 4.1 Pantalla inicial de simulación Ener-Habitat v2.2.0 2014 (<http://www.enerhabitat.unam.mx> Marzo 2015)

Selección de los parámetros de simulación

Lugar: Puebla

Periodo: Febrero

Condición: Sin aire acondicionado

Ubicación: Muro

Número de sistemas constructivos: 2

Figura 4.2 Selección de parámetros de simulación (<http://www.enerhabitat.unam.mx> Marzo 2015)

Definida la ubicación es necesario ingresar: Inclinación: en grados respecto a la horizontal en techos o al sur en muros; Orientación: en puntos cardinales. Por último se define el número de capas del sistema y sus materiales que la componen.

Ener-Habitat
EVALUACIÓN TÉRMICA DE LA ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA

¿Qué es? ¿Cómo se usa? ¿Quiénes somos? Contacto

Definición de la inclinación y la orientación

Muro

Orientación: Oeste

Inclinación: 90 [°]

Continuar

Figura 4.3 Definición de la inclinación y la orientación de muro (<http://www.enerhabitat.unam.mx> Marzo 2015)

Ener-Habitat
EVALUACIÓN TÉRMICA DE LA ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA

¿Qué es? ¿Cómo se usa? ¿Quiénes somos? Contacto

Un sistema constructivo está formado por una o varias capas. **Ener-Habitat** evalúa sistemas constructivos de hasta siete capas.

Definición de número de capas del sistema constructivo

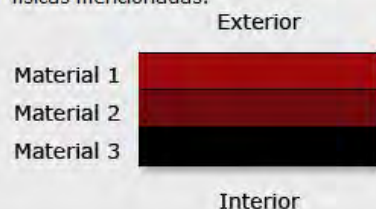
Muro 1

Número de capas: 3

Continuar

Figura 4.4 Definición de número de capas del sistema constructivo a evaluar (<http://www.enerhabitat.unam.mx> Marzo 2015)

Las capas del sistemas constructivo se describen del exterior hacia el interior. Para la capa exterior se especifica el espesor (Espesor 1) en metros, la absorptancia y el material. Para las demás capas solo el espesor y el material. Para la definición del material hay dos opciones, elegir el material de una base de datos general BD o de la base de datos del usuario. En la BD, las tres cifras que acompañan al nombre del material indican la conductividad térmica, la densidad y el calor específico, todas en unidades del sistema internacional. Con la opción Agregar se puede introducir un material a la base de datos del usuario, se requiere conocer las tres propiedades físicas mencionadas.



Definición de las capas del sistema constructivo

Muro 1

Espesor 1 [m]
 Absortancia (A)

Material 1
 ☒ BD
☐ gtm2016

Espesor 2 [m]

Material 2
 ☐ BD
☒ gtm2016

Bambu1 0.8963 710.78 1380.09
 Bambu2 0.926 558.82 1494.48
 Bambu3 0.9601 533.96 1099.19
 Bambu4 0.8695 693.06 1145.69

Espesor 3 [m]

Material 3
 ☒ BD
☐ gtm2016

Ener-Habitat v2.2.0 2014

Figura 4.5 Definición de materiales del sistema constructivo a evaluar (<http://www.enerhabitat.unam.mx> Marzo 2015)

En el caso de la comparativa realizada para el estudio se eligieron los siguientes parámetros:

Sistemas con capas no homogéneas. Debido a que las condiciones del estudio y las mediciones en laboratorio permitieron obtener coeficientes de conductancia promedio se descartará en este estudio el usar sistemas no homogéneos. Sin embargo en estudios posteriores es recomendable esta aproximación debido a la configuración con espacios de aire dentro de las estructuras del bambú y en sus cavidades naturales.

Ciudades de evaluación. Se eligieron las ciudades de Puebla y Mexicali para la comparativa. La primera por ser donde se originan dos de los sistemas constructivos y por sus condiciones climáticas frías de altiplano. La segunda por ser una comparativa contraria con condiciones de clima cálido seco.

Periodos. Se realizaron para cada una de las comparativas tres periodos, uno del mes más cálido y otro del mes más frío. Además de la promedio anual como parámetro general de comparación.

Condición. Los análisis se realizaron bajo la condición sin aire acondicionado para observar comportamientos térmicos al interior y con aire acondicionado para observar las cargas energéticas por calentamiento, enfriamiento y total.

Ubicación. El estudio siempre se realiza con el sistema a evaluar ubicado en muros.

Muro: Orientación e Inclinación. La orientación para todas las simulaciones fue poniente ya que de este modo es posible comparar sus comportamientos entre climas sin que las condiciones de radiación solar afecten sobremanera los resultados. La inclinación siempre será 90° en las evaluaciones.

Numero de capas de muro. Como una comparativa inicial se realizaron corridas con el sistema Bambu1 modificando las capas del sistema en comparativa con uno de referencia de concreto. La intención de esta comparativa es crear la condición óptima de uso del sistema de bambú y compararlo así bajo los parámetros arriba descritos.

4.3 Resultados de simulaciones

Esta primera comparativa tuvo los siguientes acomodados de capas y a continuación se presentan los resultados de la misma.

Ciudad: Puebla

Mes/Anual: Enero

Condición: Sin aire Acondicionado

Muro/Techo: Muro

Orientación: Oeste

Inclinación: 90

SC1	SC2	SC3
Absortancia: 0.5	Absortancia: 0.5	Absortancia: 0.5
Espesor 1: 0.025	Espesor 1: 0.025	Espesor 1: 0.102
Material 1: Mortero Cemento Arena	Material 1: Mortero Cemento Arena	Material 1: Bambu1
Espesor 2: 0.102	Espesor 2: 0.102	Espesor 2: 0.025
Material 2: Concreto	Material 2: Bambu1	Material 2: Mortero Cemento Arena
Espesor 3: 0.025	Espesor 3: 0.025	
Material 3: Yeso	Material 3: Yeso	
SC4	SC5	
Absortancia: 0.5	Absortancia: 0.5	
Espesor 1: 0.025	Espesor 1: 0.102	
Material 1: MorteroCementoArena	Material 1: Bambu1	
Espesor 2: 0.102		
Material 2: Bambu1		

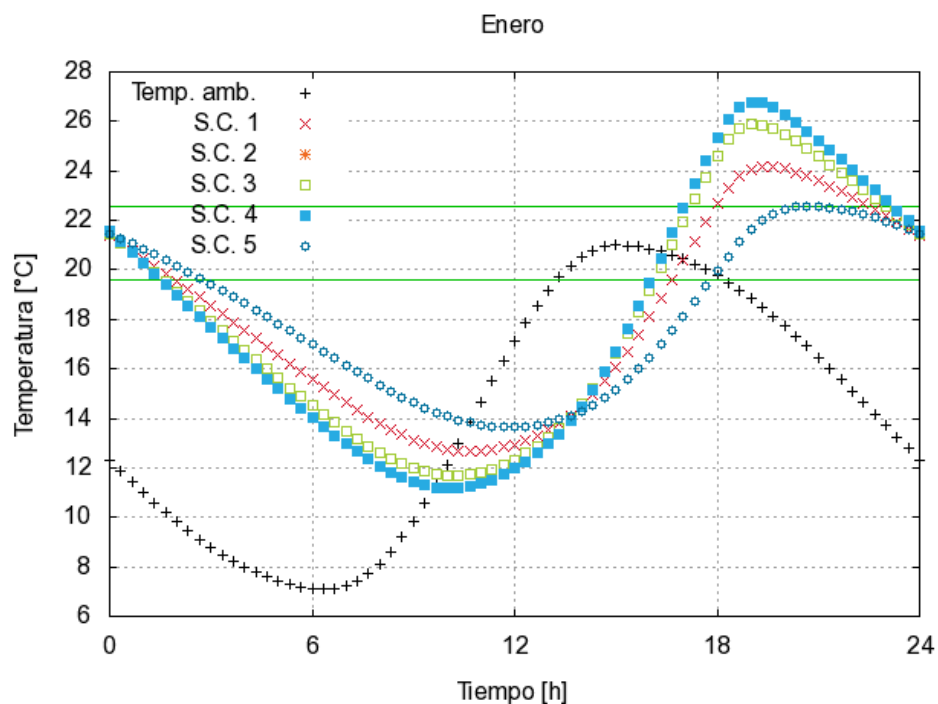


Figura 4.6 Grafica de temperaturas comparativa 1 (<http://www.enerhabitat.unam.mx> Marzo 2015)

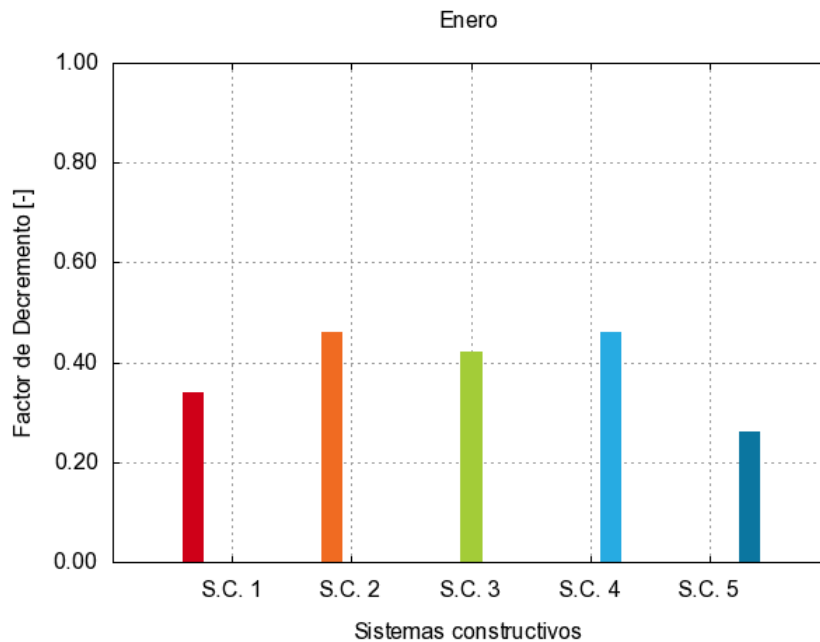


Figura 4.7 Grafica Factor de Decremento comparativa 1 (<http://www.enerhabitat.unam.mx> Marzo 2015)

Como se puede observar de esta comparativa el sistema de referencia (SC1) formado de concreto con aplanados de mortero al exterior y yeso al interior, se comporta con poca oscilación y un retardo de 4 horas. Al compararlo con los tres primeros acomodados de capas del sistema de bambú (SC2, SC3 Y SC4) se observa que las capas de aplanados en ambos lados, solo al interior o solo al exterior respectivamente, provocan que el comportamiento se más oscilante y tenga menos respuesta de retardo. Pero el uso del bambú solo (SC5) es el de mejor comportamiento de los cinco analizados.

Es por lo anterior que para las comparativas finales se tomara el sistema de referencia de concreto con aplanados en ambas caras contra cada uno de los sistemas de bambú medidos sin ningún aplanado.

De nuevo es importante considerar que las temperaturas aquí presentadas por la herramienta Ener-Habitat responden a la energía transmitida por unidad de área solo tomando en cuenta el sistema constructivo. Consiste en una aproximación de comportamiento del sistema comparativo.

4.3.1 Clima frío de altiplano. Ciudad de Puebla

4.3.1.1 Simulaciones mes más frío (Enero)

En las simulaciones presentadas en este subcapítulo para todas las condiciones y climas la nomenclatura de los sistemas constructivos será la siguiente:

SC1	SC2	SC4
Absortancia: 0.5	Absortancia: 0.5	Absortancia: 0.5
Espesor 1: 0.025	Espesor 1: 0.1	Espesor 1: 0.15
Material 1: Mortero Cemento Arena	Material 1: Bambu1	Material 1: Bambu3
Espesor 2: 0.15	SC3	SC5
Material 2: Concreto	Absortancia: 0.5	Absortancia: 0.5
Espesor 3: 0.025	Espesor 1: 0.15	Espesor 1: 0.15
Material 3: Yeso	Material 1: Bambu2	Material 1: Bambu4

Las Figuras 4.7 y 4.8 presentan el resultado de la simulación en el mes de Enero con condición sin aire acondicionado. Se observa en la tabla de factor de decremento un mejor comportamiento por parte de los sistemas de bambú que el material de referencia.

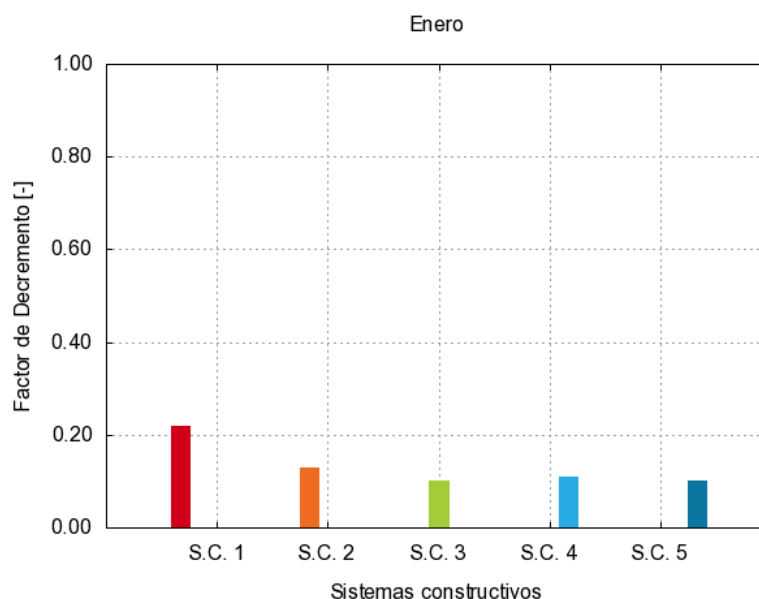


Figura 4.8 Simulación Puebla. Grafica Factor de Decremento Enero comparativa final
(<http://www.enerhabitat.unam.mx> Marzo 2015)

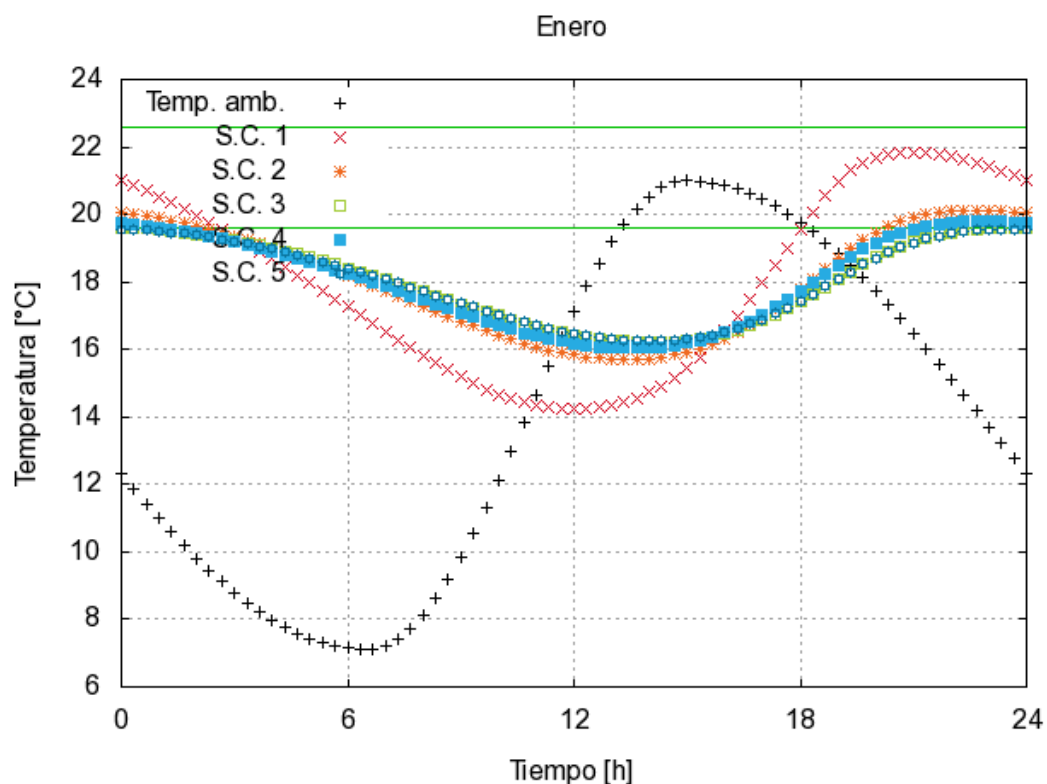


Figura 4.9 Simulación Puebla. Grafica de temperaturas Enero comparativa final (<http://www.enerhabitat.unam.mx> Marzo 2015)

Las Figuras 4.9 y 4.10 presentan el resultado de la simulación en el mes de Enero con aire acondicionado. Se observa en las tablas de cargas por calentamiento y cargas por enfriamiento un gasto menor en Wh/m^2 de parte de todos los sistemas de bambú en comparativa con el sistema de referencia.

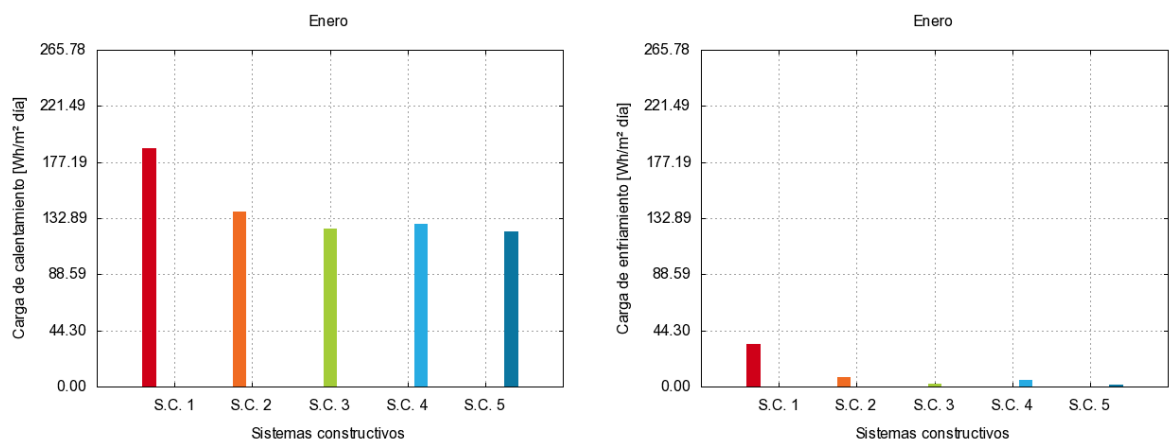
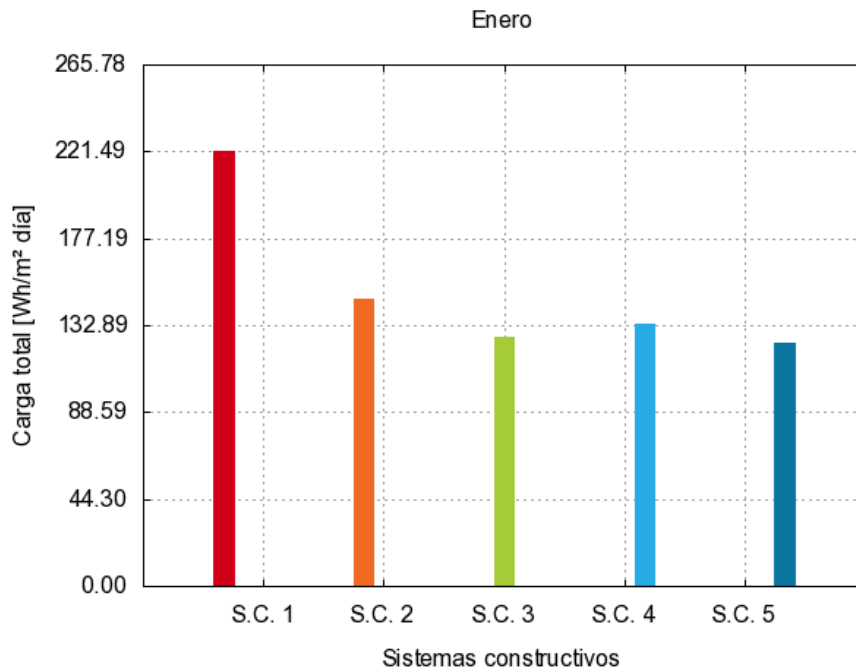


Figura 4.10 Simulación Puebla. Graficas carga de calentamiento y enfriamiento Enero comparativa final (<http://www.enerhabitat.unam.mx> Marzo 2015)



*Figura 4.11 Simulación Puebla. Grafica carga energética total Enero comparativa final
(<http://www.enerhabitat.unam.mx> Marzo 2015)*

En la gráfica anterior se muestra la carga total en Wh/m² para todos los sistemas. Consistente con las gráficas anteriores se observa un mejor comportamiento de parte de los sistemas constructivos de bambú que del material de referencia.

A continuación se presentan el resto de simulaciones resumidas por consideración al lector, presentadas del mismo modo que las anteriores, bajo condiciones de sin aire acondicionado y con aire acondicionado para observar los comportamientos de temperaturas, factor de decremento, cargas por calentamiento, cargas por enfriamiento y cargas energéticas totales de cada sistema con el sistema de referencia. Al final se presentan conclusiones de estas simulaciones y del comportamiento presentado por los sistemas evaluados.

4.3.1.2 Simulaciones mes más cálido (Mayo)

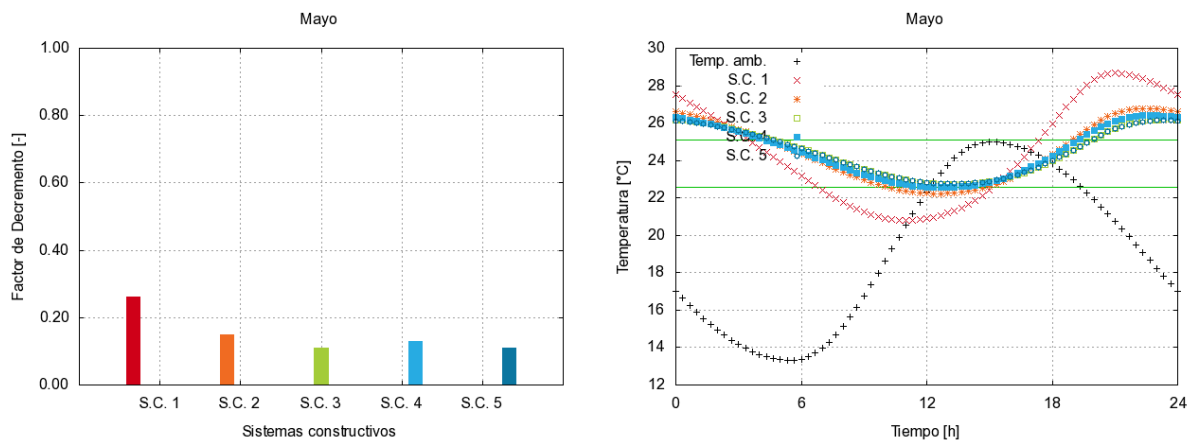


Figura 4.12 Simulación Puebla. Condición: sin aire acondicionado, mes Mayo comparativa final (<http://www.enerhabitat.unam.mx> Marzo 2015)

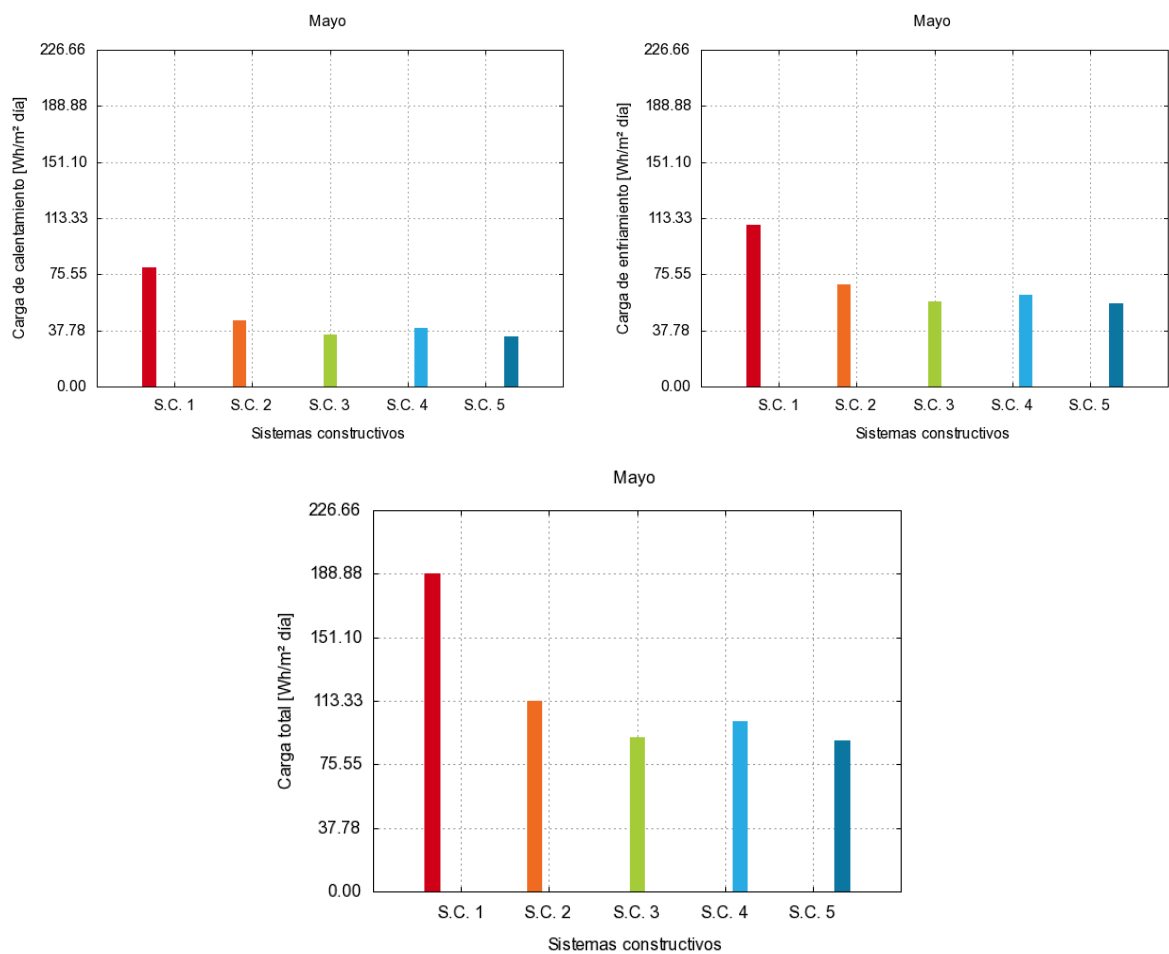


Figura 4.13 Simulación Puebla. Condición: con aire acondicionado, mes Mayo comparativa final (<http://www.enerhabitat.unam.mx> Marzo 2015)

4.3.1.3 Simulaciones anuales

Para las simulaciones Anuales se presenta en la condición sin aire acondicionado los resultados de Factor de Decremento en promedio anual y en día típico de cada uno de los meses del año.

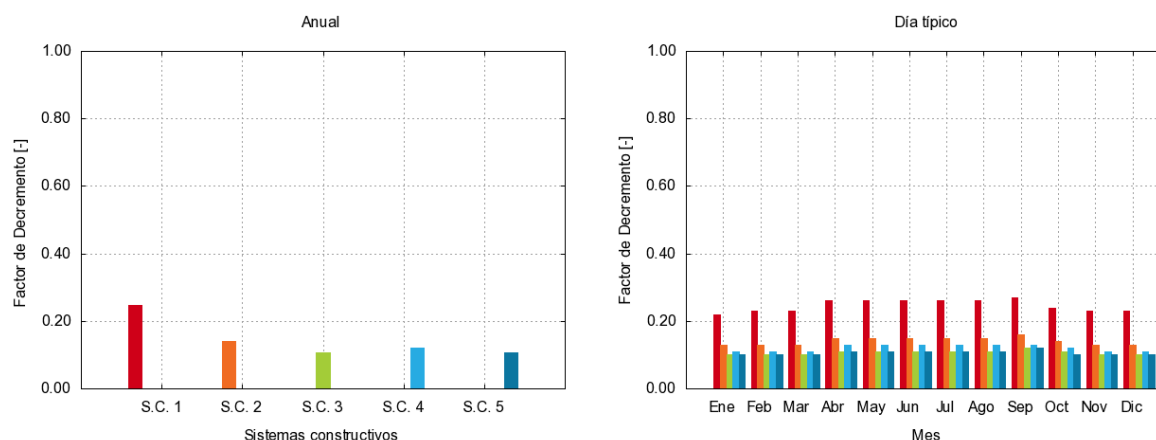


Figura 4.14 Simulación Puebla. Condición: sin aire acondicionado, Anual comparativa final (<http://www.enerhabitat.unam.mx> Marzo 2015)

Para la condición con aire acondicionado se presenta la Carga Energética Total promedio anual y la carga promedio por cada mes.

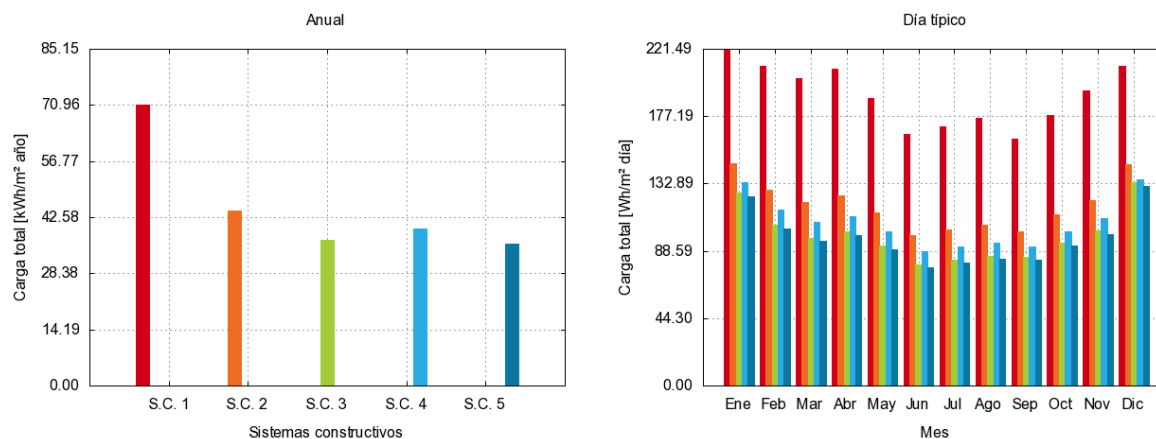


Figura 4.15 Simulación Puebla. Condición: con aire acondicionado, Anual comparativa final (<http://www.enerhabitat.unam.mx> Marzo 2015)

4.3.2 Clima cálido seco. Ciudad de Mexicali.

4.3.2.1 Simulaciones mes más frío

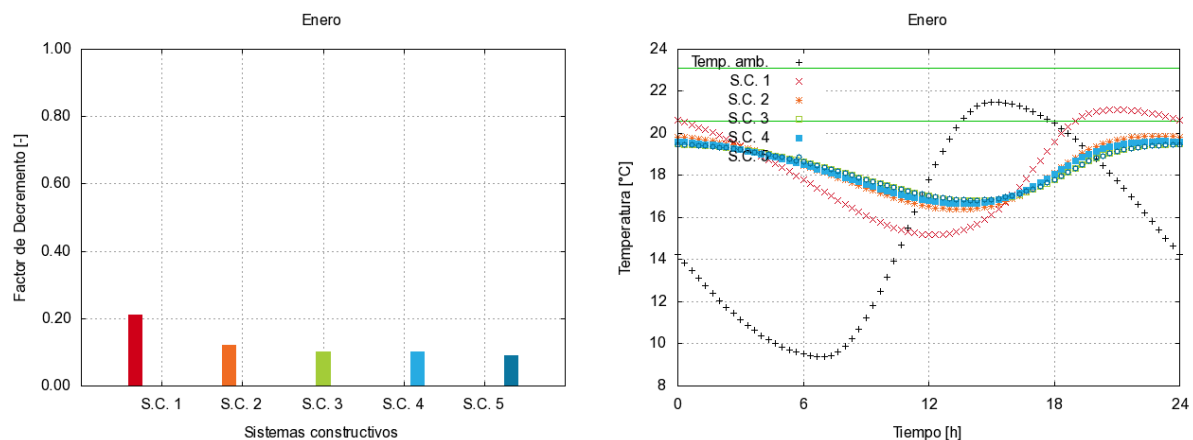


Figura 4.16 Simulación Mexicali. Condición: sin aire acondicionado, mes Enero, comparativa final (<http://www.enerhabitat.unam.mx> Marzo 2015)

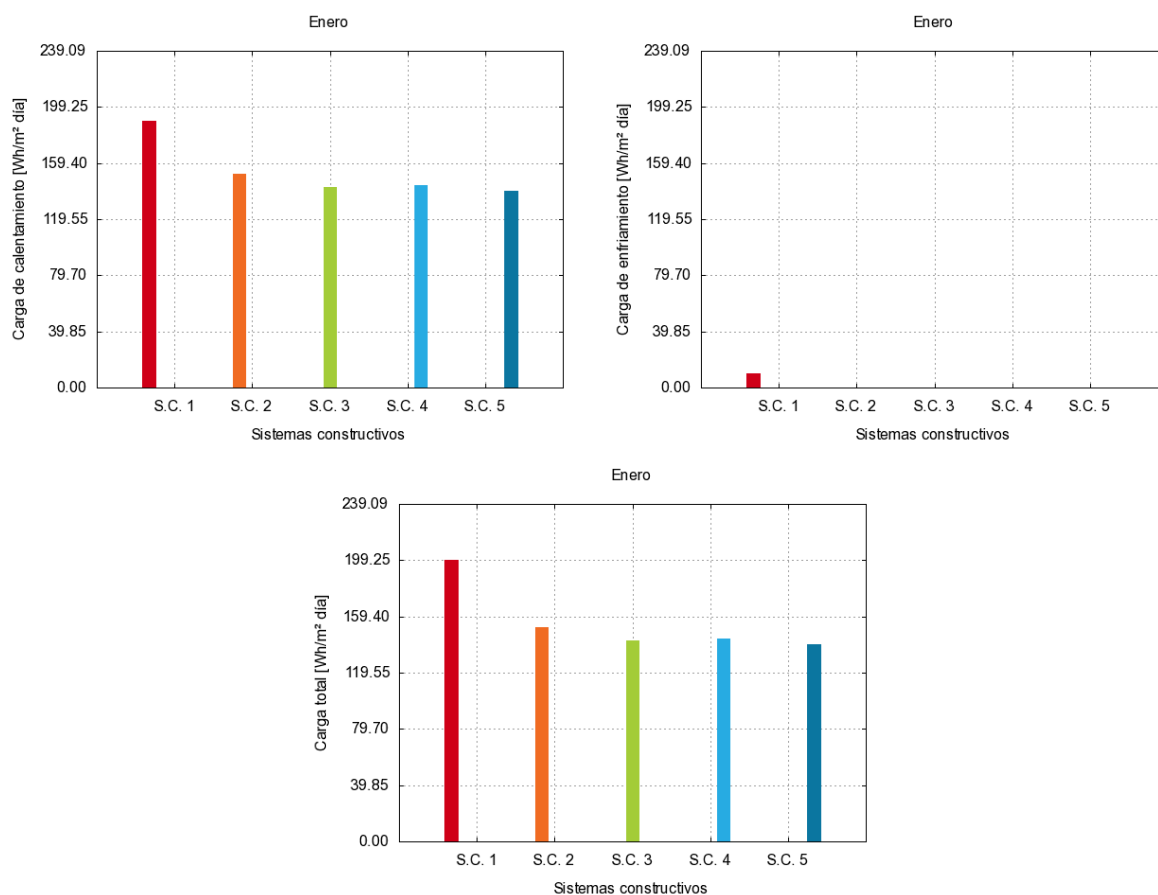


Figura 4.17 Simulación Mexicali. Condición: con aire acondicionado, mes Enero comparativa final (<http://www.enerhabitat.unam.mx> Marzo 2015)

4.3.2.2 Simulaciones mes más cálido

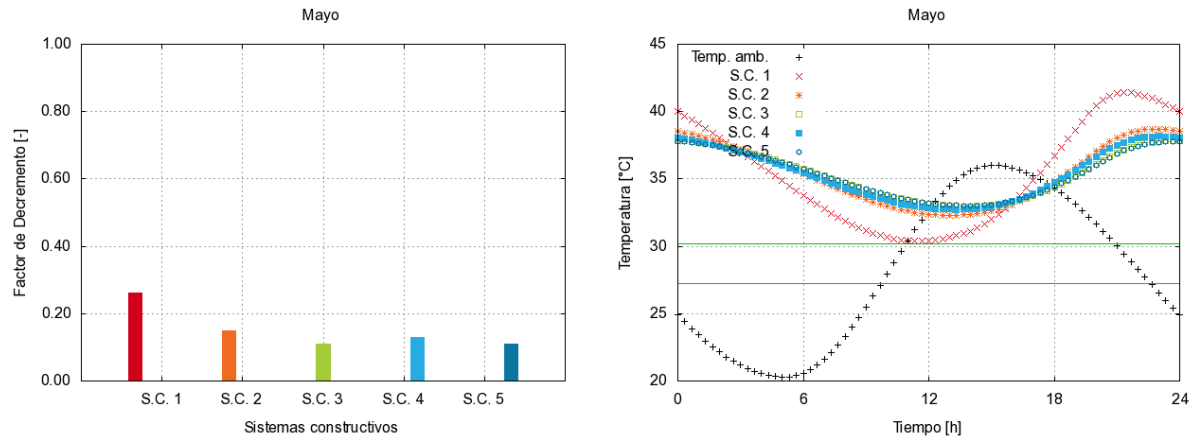


Figura 4.18 Simulación Mexicali. Condición: sin aire acondicionado, mes Mayo, comparativa final (<http://www.enerhabitat.unam.mx> Marzo 2015)

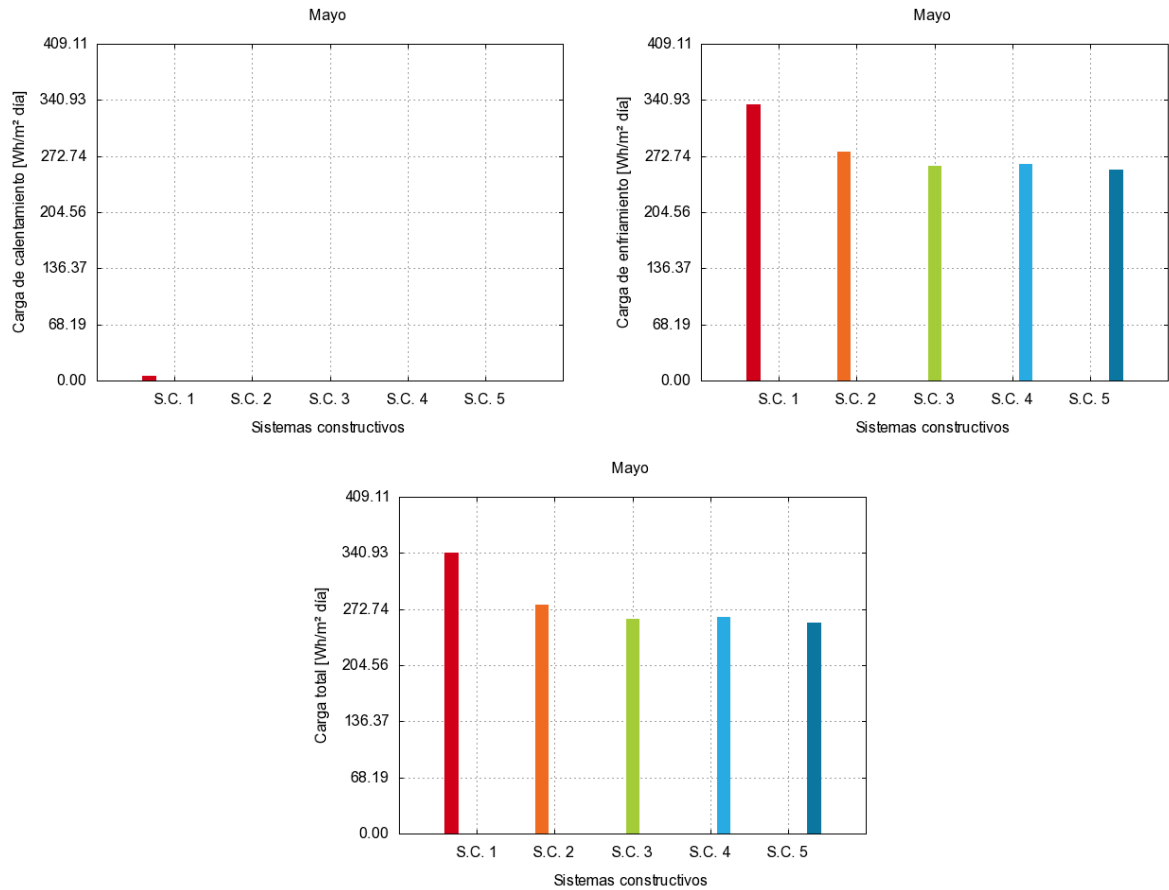


Figura 4.19 Simulación Mexicali. Condición: con aire acondicionado, mes Mayo comparativa final (<http://www.enerhabitat.unam.mx> Marzo 2015)

4.3.2.3 Simulaciones anuales

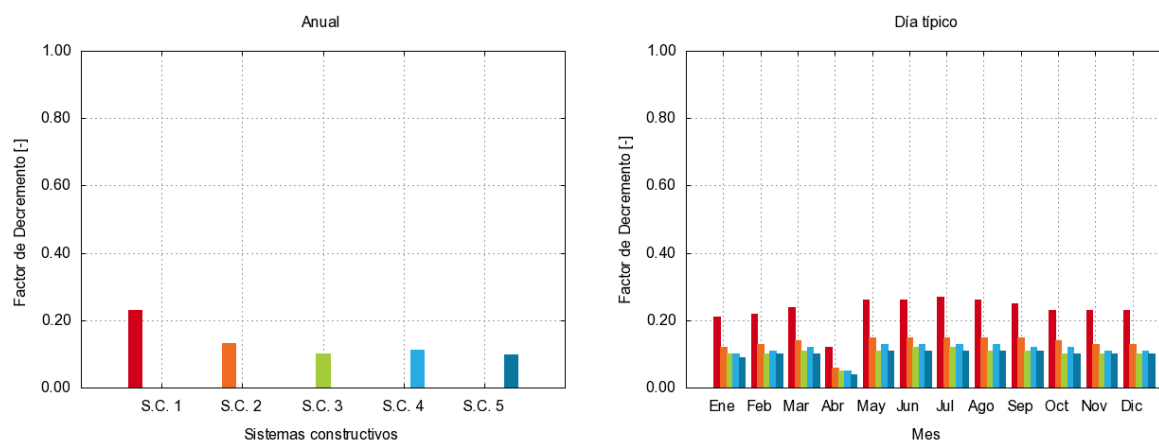


Figura 4.20 Simulación Mexicali. Condición: sin aire acondicionado, Anual comparativa final (<http://www.enerhabitat.unam.mx> Marzo 2015)

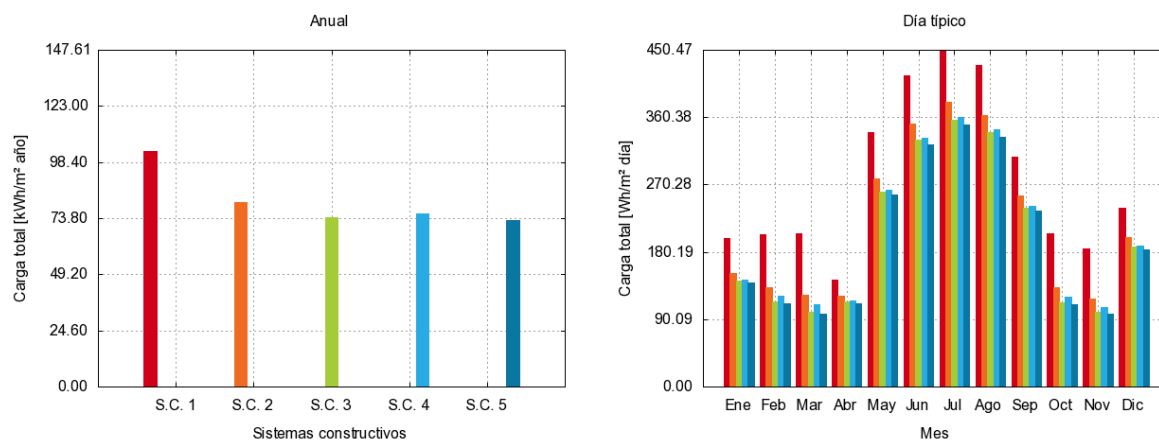


Figura 4.21 Simulación Mexicali. Condición: con aire acondicionado, Anual comparativa final (<http://www.enerhabitat.unam.mx> Marzo 2015)

5. Análisis de resultados del estudio y discusiones finales

De la hipótesis

La hipótesis presentada al inicio de este trabajo afirma que la caracterización térmica de un sistema constructivo desarrollado con tallos de bambú y material arcilloso o industrializado bajo la metodología diseñada, permite realizar simulaciones numéricas del comportamiento energético del sistema con modelos predictivos en la etapa de diseño.

De esta hipótesis podemos concluir que si es posible la generación de evaluaciones basadas exclusivamente en la energía transmitida por unidad de área del sistema bajo modelos dependientes del tiempo, utilizando los coeficientes medidos y calculados de una muestra con las características evaluadas en este estudio. Sin embargo, es cierto que se requieren de muchos más datos para poder realizar una caracterización térmica completa y con ellos una simulación de un edificio real que considere además de la energía transmitida por unidad de área las variables de un edificio bioclimático. Algunos de los datos en que se requiere continuar el estudio pueden ser, las propiedades ópticas del material que afectan directamente con su respuesta de transferencia de calor a la energía radiante del sol, así como obtención de más datos de distintos paneles para comprobar los resultados aquí medidos.

La segunda hipótesis presentada afirma que el comportamiento térmico de los sistemas constructivos basados en bambú permite su correcto uso en climas de México, obteniendo condiciones a la par o mejores que las presentadas por sistemas tradicionales.

De esto podemos observar que las propiedades aquí medidas de los paneles evaluados indican que la transferencia de calor y la eficiencia energética, considerando solo los sistemas constructivos, presentan mejores condiciones que sistemas tradicionales. Para la comprobación certera de esta hipótesis será muy conveniente en otro estudio realizar una comparativa directa entre una edificación monitoreada y una simulación numérica dependiente del tiempo bajo las mismas condiciones de aquella edificación. La construcción de un recinto exclusivamente con este fin requiere de recursos y trabajo importante que puede generar un estudio alternativo a este trabajo, aportando datos de gran valor para la caracterización térmica de estos sistemas así como una evaluación bioclimática de estos edificios.

De la metodología experimental

La metodología diseñada y presentada en este estudio tuvo su formación por medio de la unión de varias metodologías de medición y experimentaciones similares. La construcción del aparato medidor de flujo de calor para muestras de gran formato llevo consigo un gran reto de diseño y solución de problemas conforme el proceso fue avanzando. Al término de este trabajo se logró alcanzar un nivel funcional y de repetibilidad de datos arrojados por el equipo, con lo cual se obtuvieron los coeficientes térmicos aquí presentados.

La metodología de los experimentos puede ser mejorada en varios puntos. Uno de ellos es la manipulación de las muestras. Debido a que se trata de muestras de un metro cuadrado de superficie de sistemas constructivos reales, su masa es muy considerable. Al manipularlos constantemente para realizar las mediciones sufren daños si no son tratadas con cuidado.

El aparato conductímetro tiene así mismo varios puntos de mejora, algunos de los cuales pueden ser la configuración de la placa fría, resolver de forma independiente la adquisición de datos, generar modelos que procesen de forma automática los datos obtenidos de las mediciones, y algunos otros presentados en el Anexo I (Manual de operación del aparato medidor de flujo de calor). Otro punto importante es la generación de adecuaciones o incluso la adaptación de un nuevo equipo capaz de medir con mayor certeza el calor específico de las muestras. Este equipo lleva por nombre calorímetro y su análisis no es presentado en este estudio por los alcances que logro tener el mismo.

De las simulaciones

Como se puede observar en el capítulo 4 con la presentación de resultados de las simulaciones con la herramienta Ener-Habitat, los sistemas constructivos basados en bambú se comportan mejor si no tienen aplanados en ninguna de sus caras. Su oscilación en los climas de Puebla y Mexicali se observa muy estable a comparación del sistema de referencia, en este caso muro de concreto. Así mismo los requerimientos energéticos por calentamiento en el mes más frío y por enfriamiento en el mes más cálido son menores que los presentados por el sistema de referencia.

El retado térmico presentado por estas simulaciones solo depende de la energía que atraviesa el sistema y sus temperaturas interiores presentadas no son de una edificación real, por lo que

no se pueden tomar en cuenta para un dimensionamiento de equipo de aire acondicionado o para determinar que siempre su comportamiento será mejor que el sistema de referencia. Pero de estas evaluaciones se obtiene que, solo considerando el sistema constructivo basado en bambú la edificación tiene ya una ventaja de comportamiento térmico, el resto de variables para que resulte una edificación confortable dependerá de las decisiones de diseño tomadas por el arquitecto bioclimático.

De los sistemas constructivos

Durante el desarrollo de este documento se presentó al lector el bambú como planta, como material de usos diversos, como material constructivo para la arquitectura y como un sistema con buenas propiedades térmicas que acredita su uso como sistema constructivo en México.

Las ventajas ecológicas de su empleo en la construcción son muy amplias si se maneja de forma correcta todo el proceso implicado en esto. Las plantaciones de bambú cuyo destino es el uso del material en construcción han ido avanzando en nuestro país y es indispensable que continúen con esta tendencia para acercar el material a más regiones donde se puede emplear.

Mientras más se conoce un sistema constructivo más fácil es su aplicación y desarrollo tecnológico. Es importante acercar a los arquitectos, ingenieros y constructores en formación las posibilidades que estos sistemas tienen, para darles opciones alternativas de diseño que en un futuro puedan aplicar correctamente.

6. Conclusiones

Revisando los objetivos de la investigación podemos tener las siguientes conclusiones finales de cada uno.

Objetivo General. Realizar la caracterización térmica de cuatro sistemas constructivos empleados en envolventes arquitectónicas, elaborados a partir de tallos de *Bambusa oldhamii* y *Guadua aculeata* con la integración de materiales arcillosos y agregados de paja, así como materiales industrializados.

De este objetivo general la conclusión es que si se logró una caracterización térmica de los cuatro sistemas constructivos basados en bambú bajo los parámetros definidos en el capítulo 3, es de notar en esta parte que los resultados provienen de una muestra de cada sistema constructivo en escala real de uso, pero en cada caso es única. Para lograr una caracterización más completa se deben utilizar más muestras de cada sistema constructivo y comparar sus resultados a fin de obtener un promedio de diversos ejemplares.

Objetivos específicos.

Definir la metodología para la caracterización térmica de los cuatro sistemas constructivos.

La metodología se obtuvo de revisiones amplias de literatura y trabajos de investigación similares y con ella se logró el objetivo que se buscaba en este trabajo basado en los alcances que se lograrían tener con los recursos disponibles.

Definir la generación de modelos físicos para la caracterización de los sistemas constructivos basados en tallos de bambú.

Los modelos físicos utilizados para la caracterización térmica fueron lo más apegados a la realidad de su utilización lo que permite en este tipo de estudios un acercamiento más certero a los datos que se persiguen. En esta parte es necesario enfatizar que después de la revisión literaria de trabajos similares y normatividades, este es el mejor método de evaluar un sistema constructivo, con muestras reales de sus condiciones de uso y de un tamaño que pueda albergar las características generales del sistema. En este caso las muestras fueron de un metro cuadrado, sin embargo el utilizar muestras de mayor tamaño mejoraría la aproximación buscada a la realidad de uso aunque acarrearía problemáticas por su manejo a mayor escala.

Generar un equipo para someter a pruebas de flujo de calor los modelos físicos de los cuatro sistemas constructivos de bambú en ejemplares de gran formato.

El aparato conductímetro térmico se realizó bajo el mayor rigor posible y con los recursos que el autor tenía a disposición en el desarrollo de la investigación. Este equipo puede servir para más trabajos de investigación con diferentes materiales y al realizarle ajustes su certeza de medición será mejor. En el Anexo I de este documento se presentan una serie de recomendaciones para la operación del equipo en el estado en que se dejó en los laboratorios de termofluidos de la división CBI de la UAM-A, así mismo se presentan mejoras sugeridas por el autor para algún compañero que desee continuar el trabajo y basándose en este equipo se logre un conductímetro térmico con mejor precisión y funcionamiento.

Generar modelos útiles para la evaluación térmica de un material constructivo mixto vegetal e industrializado.

Debido a los datos medidos y calculados de los sistemas su modelo de comparación bajo el programa Ener-Habitat fue la mejor opción de aplicación. El obtener más datos de los sistemas constructivos permitirá simulaciones más detalladas en programas computacionales de mucho mayor alcance como Design Builder o Energy Plus. Para los alcances trazados en este trabajo una comparativa como la realizada ayudó a darles una aplicación arquitectónica a los datos termofísicos obtenidos en laboratorio.

Presentar los valores termofísicos de los sistemas evaluados y su comparativa.

Se logró presentar los valores termofísicos detallados en el capítulo 3.9 satisfactoriamente a los alcances de este trabajo, así como presentar en una tabla anexo un resumen de los datos con graficas de los sistemas para una mejor presentación al lector del presente documento.

El presente trabajo llevo consigo un esfuerzo grande para lograr el estudio de los sistemas constructivos de bambú, la realización del equipo conductímetro térmico, así como la puesta a prueba de las muestras espécimen. Espero que este trabajo sirva de base para una continuación por parte de algún compañero de maestría y el equipo siga sirviendo a más investigaciones como lo ha sido de utilidad hasta ahora.

7. Bibliografía consultada

Arias J., Baccifava S., Bernardi M., Lencina M.A., Slingo A. (2011) *Monografía de Análisis de Autores, Simón Vélez*. Cátedra de Diseño Arquitectónico. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario. Provincia de Santa Fe, Argentina.

Botero C. (2004) *Manual de Industrialización del Bambú*. Apoyo a la Mejora de la Competitividad de las PYMES del sector Forestal Industrial en Argentina (COMPYMEFOR), Buenos Aires, p. 11-21.

Burri, M. (2002). *Bamboo as a Building Material*. Meierhof (bambus.com) Emmen, Nederland, 16p.

Burri, M. (2002). *Construction with Bamboo – Bamboo Conections*. Meierhof (bambus.com) Emmen, Nederland, 23 p.

Burri, M. (2002). *Construction with Bamboo – Projects Jorg Stamm*. Meierhof (bambus.com) Emmen, Nederland, 14 p.

Bystriakova, N., Kapos, V. & Lysenko, I. 2004. *Bamboo Biodiversity*. UNEP-WCMC/INBAR. Swaingrove Imaging, United Kingdom.

C 518 (2004). *Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus*. American Society for Testing Materials (ASTM) Designation C518 – 04. Copyright ASTM International, Pennsylvania, United States.

Carniol U. (2009) *Bambú guadua en puentes peatonales*. Revista Tecnología en Marcha, Vol. 23, N° 1, Enero-Marzo 2010, P.29-38.

Cedeño V. & Irigoyen C. (2011) *El Bambú en México*. Revista arq.urb, Universidade Sao Judas Tadeu, Brasil., segundo semestre de 2011. Pags 223 – 243.

CMIC (2014). *Plan de Manejo de Residuos de la Construcción y la Demolición (PM-RCD)*. Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción A.C. Dirección General de Fomento Ambiental, Urbano y Turístico SEMARNAT.

Collins M. (2004). *Bamboo Biodiversity* Preface. UNEP-WCMC/INBAR. UK. p. 5.

Cortés Rodríguez, G.R. 2000. *Los bambúes nativos de México*. CONABIO. Biodiversitas 30:12-15

Cruz H. (1994) *La Guadua: Nuestro bambú*. Corporación Autónoma Regional del Quindío y Centro Nacional para el Estudio del Bambú-Guadua, Colombia.

De Vos, Valentijn (2010). *Bamboo for Exterior Joinery*. SHR Thesis Report for Larenstein University, Nederland, 11-12p.

DeBoer D. & Bareis K. (2000). *Bamboo Building and Culture*. DeBoerArchitects.com El Sobrante, California, U.S.A. <http://www.deboerarchitects.com/BambooBuildingAndCulture.html> (revisado en Octubre 2014)

Duarte (2007). *Ficha técnica Gel Refrigerante*. SYNGEL de México, S.A de C.V. Atizapán, Estado de México.

Evans M., de Schiller S. & Garzón L. (2012) *Desempeño Térmico de Viviendas Construidas con Quincha*. Construyendo con Tierra 5. Centro de Investigación Hábitat y Energía. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires, Argentina. Mayo 2012

Flores C. (2009) *Bambú: una alternativa constructiva en México*. Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de Maestría en Arquitectura, programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura.

FLUKE (2009). *Fluke Ti25 and Ti10 Thermal Imagers, Technical Data*. Fluke Corporation. All rights reserved. Everett, WA U.S.A.

Forero G., Souza W. (2008) *La Guadua un sistema innovador para la construcción de vivienda en Anapoima Cundamarca*. Trabajo de Grado, Universidad de la Salle, Especialización en Gerencia de Proyectos de Ingeniería, Bogotá D.C.

Givoni, B. (1976). *Man, Climate and Architecture*. Architectural Science Series. Applied Science Publ. Universidad de California, EUA.

Hidalgo L. (2003) *Bamboo. The Gift Of The Gods*. Oscar Hidalgo-López Editor. Printed in Colombia by D'VINNI LTDA.

Huelsz G., Barrios G., Rechtman R., Rojas J., (2007) Importancia del análisis de transferencia de calor dependiente del tiempo en la evaluación del desempeño térmico de la envolvente de una edificación. Estudios de Arquitectura Bioclimática, Anuario 2007 Vol. IX. Editorial Limusa SA de CV, UAM. pp 11-20. México, D.F. 2007

Judziewicz J., Clark L., Londoño X., Stern M. 1999. *American Bamboos*. Smithsonian Institution Press Washington and London.

Leyva C. & López M. (2014) *Taller Teórico Práctico, Arquitectura más Ingeniería Bambú Guadua Angustifolia*. Ojtat Taller de Arquitectura Regenerativa. Cholula, Puebla, México. Junio 2014.

Leyva C. & Romero R. (2013) Curso Construyendo con Bambú. Cooperativa Las Cañadas. Huatusco, Ver., México. Febrero 2013.

Mainardi V., 2013. *Regiones Fitogeográficas de Argentina y de Tucumán*. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. P. 1-3

McClure, F.A. (1972). *Bamboo as a Building Material*. Foreign Agricultural Service United States Department of Agriculture. Washington, D.C.

NBE-CT-79 (1979). *Norma Básica de la edificación "NBE-CT-79" sobre Condiciones Térmicas de los Edificios*. REAL DECRETO 2429/197 de 6-JUL, de la Presidencia del Gobierno B.O.E.: 22-OCT-79, Madrid, España.

Ordoñez C., Mejía S. & Bácnas P. (2012). Manual para la construcción sustentable con bambú. Comisión Nacional Forestal, Coordinación General de Educación y Desarrollo Tecnológico, Zapopan Jalisco; Instituto de Ecología A.C. (Inecol) Huatusco, Ver.

Perea R., Villegas R., Cerquera B., Cortés M. (2003). *Evaluación y documentación de prácticas sobresalientes sobre el manejo de la cosecha y maduración de la guadua en el departamento del Huila*. Fundación para el Desarrollo de la Ingeniería. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Departamento del Huila, Neiva, Colombia.

Pérez G., Rueda G., Rojo M., Martínez R., Ramírez V., Juárez S. (2009) *El bambú (bambusa spp.) como sistema agroforestal: una alternativa de desarrollo mediante el pago por servicios ambientales en la sierra nororiental del estado de Puebla*. Revista Ra Ximhai, septiembre-

diciembre, año/Vol. 5, Número 3. Universidad Autónoma Indígena de México. Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 335-346.

Rodríguez M, 2005. *Determinación de la distribución potencial de las especies nativas e introducidas de bambú en México*. Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía.

RWTH Aachen University (2002). *Bamboo as a Building Material*.
file:///D:/www.bambus/new/leng/reports/buildingmaterial/buildingmaterial.html 27/10/2002

Soderstrom, Thomas R. (1985) *Bamboo Systematics: Yesterday, Today and Tomorrow*. Texto Original ABS Journal 1985, Volume 6. page: 4-16. Traducción y edición Gilberto R. Cortés Rodríguez (www.bambumex.org) (Oct-2010)

Stamm J. (2008) *La Evolución de los Métodos constructivos en Bambú*. Segundo Congreso Mexicano del Bambú. Puebla, México.

TIFAC (2004). *Training Manual, Propagating Bamboo*. Technology Information, Forecasting and Assessment Council. Department of Science and Technology, Government of India.

U.N. (1972) *Utilización del Bambú y de la Caña en la Construcción*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Naciones Unidas, Nueva York, U.S.A. 1972.

Yu X. (2007) *Bamboo: Structure and Culture. Utilizing bamboo in the industrial context with reference to its structural and cultural dimensions*. Inaugural Dissertation, Duisburg-Essen University. Germany.

Páginas de Internet

Ojtat.org (2015) www.ojtat.org © 2014 Powered by AFTERFUTURE NETWORKS. Visitado Enero 2015.

Cortés Rodríguez, G.R (2005). *Viviendas de Bambú en México*. Revista Electrónica Biobambú. <http://www.bambumex.org/paginas/VIVIENDA.pdf>

http://www.conevyt.org.mx/cursos/cursos/cnaturales_v2/interface/main/recursos/antologia/cnant_4_13.htm. Visitado Nov 2012.

http://www.cambioclimatico.yucatan.gob.mx/atlas-cambio-climatico/pdf/tipos_climas.pdf Visitado
Nov 2012.

Anexo I. MANUAL DE OPERACIÓN CONDUCTÍMETRO TÉRMICO

Contenido:

1. Propósito del equipo.
2. Principios de operación.
3. Servicios requeridos para su instalación y operación.
4. Calibración.
5. Tipo de muestras y sistemas para medición.
6. Preparación de una muestra y colocación en el equipo.
 - 6.1 Ajuste de muestras para pruebas.
 - 6.2 Puntos de medición
 - 6.3 Colocación de termopares
 - 6.4 Conexión a Módulos Análogos ADAM
 - 6.5 Colocación de una muestra dentro del equipo
7. Ejemplo de una prueba realizada.
8. Mantenimiento general.
9. Observaciones y recomendaciones.

1. Propósitos del equipo.

El conductímetro térmico para muestras de gran formato es un aparato diseñado para medir el flujo de calor que atraviesa una muestra de un sistema constructivo, con el fin de obtener sus condiciones de estado permanente y a través de cálculos determinar su coeficiente de conductancia promedio total en un formato de un metro cuadrado.

La conducción es el paso del calor a través de un material por transferencia desde las moléculas más calientes hacia las más frías en contacto unas con otras (Givoni 1976). En arquitectura bioclimática la capacidad que tiene un sistema constructivo de transferir el calor del exterior al interior de un espacio (propiedad conocida como conductancia), es de interés al decidir el uso de ese sistema en un clima específico.

2. Principios de operación.

La operación del aparato con pruebas de gran formato requiere la atención y monitoreo constante de sus partes y equipos alternos, con el fin de que las pruebas sean útiles a los cálculos y no exista un descarte constante de datos, con una evidente pérdida de tiempo implicada. Los controladores incorporados al aparato son de fácil operación y poca configuración, sin embargo la adquisición de datos de flujo de calor se lleva a cabo por un equipo y programación computacional más compleja, que requiere de un especialista en el área. En este trabajo se contó con el apoyo del personal del Laboratorio de Energía Solar y sus instalaciones para realizar las mediciones.

3. Servicios requeridos para su instalación y operación.

El aparato opera bajo una instalación eléctrica de 110V, su potencia nominal es cercana a los 2,400W y su intensidad de 25 amperios. Además de una conexión eléctrica para su encendido el aparato requiere, como se mencionó anteriormente, de equipo alterno para la medición del flujo de calor. Para la presente investigación se utilizaron dos Módulos Análogos de la marca ADAM modelos 40-18 y 40-18m de 16bits y 8 canales, conectados a una interfaz para ordenador. Por medio de un programa creado en LabView para tal fin se obtienen las mediciones de temperaturas en 14 puntos de la muestra. El apoyo de personal calificado es indispensable para esta parte de captura de los datos.

La configuración actual de la placa fría incluye el uso de bolsas de gel refrigerante como medio de conservación de temperaturas bajas y uniformes en toda la placa. Para la operación de la placa fría un congelador es necesario en todo momento dentro del laboratorio donde se lleven a cabo las pruebas. En esta investigación se utilizó una maquina productora de hielos adaptada. De no contar con un equipo similar cerca del área de trabajo las pruebas pueden extenderse considerablemente en tiempo.

4. Calibración.

Una de las partes claves del correcto funcionamiento del equipo es su calibración. La precisión y sesgo del aparato pueden ser excelentes si la calibración se realiza con muestras del rango esperado de intercambio de calor. Esto significa el uso de materiales semejantes a las muestras espécimen, en espesor, conductancia térmica, temperaturas medias y gradientes de

temperatura (ASTM C518, 2004). En caso que la muestra que se mide no tenga un dato de referencia al cual dirigirse, el uso de una muestra calibrada por un laboratorio certificado será la mejor opción. Debido a los costos que lo anterior implica, en esta investigación se utilizó un material de construcción modular con su dato de conductividad avalado por un organismo de normalización que cumple la norma NOM-018-ENER-2011.

5. Tipo de muestras y sistemas para medición.

Los sistemas constructivos que este aparato puede medir son muy variados. Sin embargo tiene limitantes en cuanto al tipo de muestras que pueden ser puestas a prueba. Las medidas interiores del equipo permiten el ingreso de pruebas de 1.00m por 1.00m, con un espesor máximo de 35 a 40cms y un peso no superior a los 250kg. Debido a que dentro de estos rangos entran una gran cantidad de sistemas constructivos, la clave del correcto resultado en el estudio caerá en la fabricación de la muestra. Esta debe ser lo más fiel posible al real uso del sistema constructivo a evaluar, para obtener valores aplicables de las pruebas. Así mismo debe ser manejable y resistente a los movimientos requeridos por las pruebas. En caso de que esto no sea posible, el armado del aparato permite construir muestras dentro de sus paredes para su posterior medición. Especial cuidado debe tenerse cuando se realice esto debido a que una fuga de material sobre la resistencia eléctrica puede dañar el equipo e incluso arriesgar la seguridad del operador.

Las muestras que se sometan a medición deben estar secas al momento de realizar las pruebas. Por lo que siempre es recomendable permitir el secado o fraguado de la muestra con suficiente tiempo antes de programar una medición. De no realizar esto los datos obtenidos pueden variar tanto que deberán ser descartados para cálculos.

6. Preparación de una muestra y colocación en el equipo.

6.1 Ajuste de muestras para pruebas.

Las muestras de estudio deben ajustar lo más exacto permisible a las paredes interiores del equipo cubriendo el área total de la placa, de no ser esto posible, la muestra al menos debe cubrir el área de medición y el resto del área debe quedar cubierto con una máscara de un material con conductividad térmica similar (ASTM C518, 2004). Ya que las partes que no estén cubiertas presentarán fugas de calor y puentes térmicos, lo cual producirá menor certeza en los

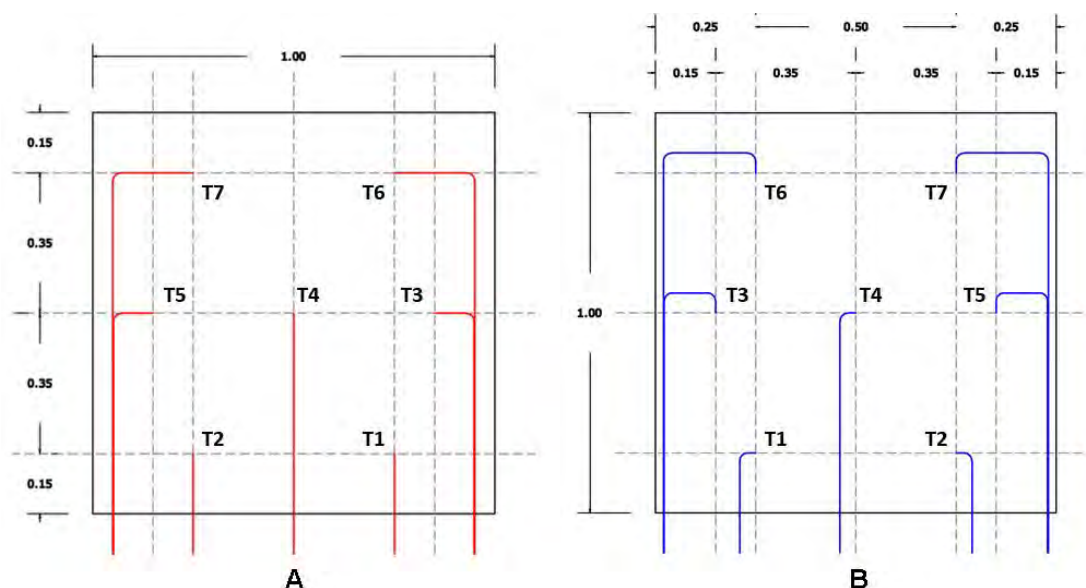
datos a obtener. Para esto se recomienda hacer un molde de la placa caliente para compararlo con todas las muestras antes de ingresarlas al aparato. Si es necesario se deberá lijar, rebajar o pulir las muestras de estudio hasta que ajusten y asienten lo mejor posible, teniendo en cuenta que también será necesario prever una holgura para que el espécimen pueda ser retirado sin causar daños.

Cuando se manejen muestras de un peso considerable (superior a los 50kg), es recomendable contar siempre con ayuda para ingresar y extraer las muestras. El aparato se diseñó con la capacidad de movilidad dentro de un laboratorio y rodamientos que soportan hasta 240kg y permiten su fijación en cualquier punto que se desee.

6.2 Puntos de medición.

Una vez que se ha asegurado que la muestra ajusta lo mejor posible en el equipo, es necesario establecer los puntos de medición donde se ubicarán los termopares. Para esto se recomienda determinar en un diagrama con medidas los puntos donde se ubicarán los termopares tanto en la placa caliente como en la placa fría. Ya que el procedimiento está diseñado para hacer una medición paralela y unidireccional del flujo de calor es necesario asegurar que los puntos de la placa caliente se encuentran alineados con los de la placa fría.

A continuación se presenta el esquema utilizado para las pruebas realizadas en este trabajo de investigación, A. indica el plano en placa caliente y B. el plano en placa fría:



6.3 Colocación de termopares

Con base a una metodología de medición de temperaturas en edificios se realizó el siguiente procedimiento para la colocación de los termopares en las muestras a medir. El procedimiento consiste en los siguientes pasos:

1. Trazo de los recorridos que los cables de los termopares tipo K tendrán sobre las superficies de la muestra que estarán en contacto con la placa fría y caliente. Se recomienda que estos trazos sean lo más cortos posibles para evitar un daño excesivo a la cara de la muestra. De ser el caso, debe llevarse dentro de ranuras o espacios ya existentes en la muestra.
2. Ranurado de las caras de las muestras por donde se han trazado los recorridos de los termopares. Este paso debe realizarse con extremo cuidado de no lastimar la muestra espécimen. Una ruptura mayor puede crear un puente térmico que invalidará el uso de esa muestra en las pruebas. Se recomienda el uso de una máquina rectificadora o de esmeril, con el uso de equipo de seguridad necesario. La profundidad de estas ranuras debe ser alrededor de 3 a 5 mm para que el cable quede embebido en la muestra y esta última asiente perfectamente tanto con la placa caliente como con la placa fría, de otro modo podría existir una pequeña capa de aire que alterará los resultados. Por otro lado si la muestra de estudio es de un espesor muy pequeño, como muchos de los paneles divisorios comunes en la construcción, se recomienda que las ranuras por donde viaja el cable no coincidan entre ambas caras de la muestra para no debilitarla de tal forma que pueda fracturarse, recordando que la punta de cada uno de los termopares sí debe coincidir en los puntos de medición establecidos con anterioridad.
3. Fijación de los termopares a las caras de la muestra. Es necesario fijar los termopares en todo su recorrido con la intención de que al mover la muestra no se separen los cables de las caras y sea necesario retirar la muestra una vez ingresada al equipo. Se recomienda colocar cinta adhesiva o incluso grapas si la cinta no presenta la suficiente adhesión. Procurando que sean de dimensiones pequeñas ya que el material metálico genera puentes térmicos que modifican los flujos de calor, por lo que hay que evitar clavos, tornillos o cualquier otro método de fijación ajeno al sistema constructivo a estudiar y que genere puentes térmicos.
4. Cobertura de las puntas de los termopares para medición. Una vez colocados y fijados los recorridos del cable, es muy recomendable rellenar el área que ocupa la punta del

termopar con una pequeña cantidad del mismo material a medir (aplanado de cemento, yeso, polvo de tabique, etc), para mejorar la captura de datos del termopar en la muestra. Si esto no es posible dadas las características del material de muestra, se puede utilizar una grasa disipadora de calor, producto comercial usualmente en existencia en tiendas de electrónica.

5. Una vez fijadas y cubiertas las puntas de los termopares es necesario esperar unas horas a que el material colocado sobre estos se seque para que no exista humedad en los puntos de medición al momento de realizar la prueba.

6.4 Conexión a Módulos ADAM.

La conexión de los termopares a los módulos Adam debe realizarse identificando aquellos que están ubicados sobre la cara en contacto con la placa caliente y los correspondientes a la placa fría, para ubicarlos con facilidad en la hoja de cálculo generada por el software LabVIEW. Para esto se recomienda colocar indicadores en cada uno de los cables.

La cantidad de puntos de medición dependerá de la cantidad de módulos ADAM que se consigan, en el caso de este trabajo de investigación se obtuvieron dos unidades con 7 entradas útiles cada una. En caso de requerir más puntos de medición para una muestra, será necesario conseguir más equipo de adquisición de datos. Es importante recordar que mientras más datos se tengan el manejo de las hojas de Excel requerirá de mayor atención para evitar confusión entre pruebas.

6.5 Colocación de una muestra dentro del equipo.

La colocación de la muestra al interior del equipo debe realizarse teniendo cuidado de mantener la ubicación de los termopares y asegurándose que la muestra asienta perfectamente sobre ambas placas para evitar la existencia de aire atrapado. Además de no lastimar la muestra al ingresarla ni las paredes del aparato. Para este paso es clave el haber realizado correctamente el perfilado de la muestra, especialmente cuando se manejan muestras de gran peso.

Una vez asentada la muestra de estudio se procede a colocar la placa fría. La configuración actual incluye el uso de bolsas de gel refrigerante congeladas, se recomienda colocar las bolsas de gel refrigerante hasta que se encuentren completamente congeladas, lo que asegura que la placa fría se mantenga a una temperatura estable por mayor tiempo. También se recomienda

colocar dos capas de bolsas de gel refrigerante, una sobre otra y procurando cubrir toda el área de la placa, esto se ha observado que mejora el desempeño de la prueba. Las bolsas de gel se recomienda colocarlas al interior de la bandeja dentro de una bolsa plástica que permite reducir escurrimientos fuera de la bandeja Por último se coloca la tapa aislante de poliestireno para evitar intercambios térmicos entre el equipo, en particular la placa fría con el ambiente, lo que permite realizar mediciones de mayor duración.

7. Ejemplo de una prueba realizada

A continuación se describe una secuencia de pasos a seguir para realizar una prueba una vez que la muestra a medir se encuentra dentro del aparato y con sus termopares colocados.

Encendido de la placa caliente. Para iniciar la prueba experimental se recomienda mantener el controlador de la resistencia (Figura 1) a una temperatura de 20°C, es decir cercana a la temperatura ambiente, con esto se asegura que el equipo no genere un pico de temperatura súbito. Es conveniente para esto recordar al término de cada prueba regresar el controlador a la temperatura indicada arriba para que al inicio de la siguiente prueba se encuentre en dicho límite.



Figura 1. Controlador placa caliente y partes (Elaboración propia).

Colocación de la placa fría. El primer paso para el armado de la placa fría es colocar la bandeja de aluminio que cubrirá por completo la muestra a medir y contendrá las bolsas de gel

refrigerante en su interior (Figura 2). La colocación de esta bandeja debe hacerse con el cuidado necesario para no mover alguno de los termopares colocados a la muestra ni dañar la misma.



Figura 2. Bandeja de aluminio placa fría, dentro y fuera del equipo. (Elaboración propia).

Una vez colocada la placa de aluminio se llenara con las bolsas de gel previamente congeladas por un mínimo de tiempo de 24 horas con el fin de que alcancen su punto de congelamiento optimo y su duración en baja temperatura sea mayor (Figura 3). Se recomienda ampliamente el uso de guantes protectores al manipular las bolsas de gel ya que pueden provocar quemaduras por congelamiento en la piel expuesta.



Figura 3. Bolsas de gel refrigerante listas para prueba. Previo congelamiento de 24 horas. (Elaboración propia).

Al ubicarlas dentro de la placa de aluminio se debe procurar que toda la superficie sea cubierta por las bolsas. Para esto se debe realizar un colocado de las bolsas en desfase, que permita

cubrir toda el área (Figura 4). El tiempo de duración de cada prueba dependerá de las propiedades y espesor de la muestra a medir, pero por lo registrado en las pruebas realizadas hasta ahora, el colocar doble capa de bolsas de gel ayuda enormemente a los tiempos en que la placa fría se mantiene estable. Esto requiere de un total de 40 bolsas grandes y 4 pequeñas.



Figura 4. Colocación de bolsas en prueba; a. bolsa de plástico contenedora dentro de la bandeja; b. acomodo de 40 bolsas para optima cobertura de la superficie. (Elaboración propia).

Por último se coloca la placa de unicel que cubre la placa fría para evitar el intercambio inmediato con el entorno del laboratorio de la capa superior de las bolsas de gel congeladas (Figura 5). Es necesario manejar esta placa con cuidado para ser utilizada en muchas pruebas.



Figura 5. Placa de unicel: a. fuera del equipo; b. colocada en prueba. (Elaboración propia).

Ya teniendo la placa fría armada en su totalidad se procede a colocar la tapa frontal del aparato. El borde inferior que estará en contacto con los cables de los termopares debe tener un sello

aislante, por lo cual se coloca una tira de material aislante de fibra mineral en todo el borde de la placa caliente. Una vez colocado este sello se introduce la tapa frontal por arriba del aparato respetando las guías colocadas en este.



Figura 5. Placa de unicel: a. fuera del equipo; b. colocada en prueba. (Elaboración propia).

Una vez completado estos pasos se debe proceder a revisar que la adquisición de datos en LabView esté funcionando correctamente. Este paso es muy importante y requiere de constante monitoreo durante toda la prueba para evitar pérdida de datos y tiempo.

Ya revisado el correcto funcionamiento de LabView y teniendo el aparato armado se procede a ajustar la temperatura de la placa caliente. Es importante considerar que existe una corrección en la temperatura presentada por el pirómetro y la real en la placa metálica. Este ajuste es de menos 5 °C. Por lo cual si se ajusta a 55°C la temperatura otorgada a la muestra será de 50°C.

Debido a que en el inicio del calentamiento de la placa caliente se consume el máximo de la potencia nominal de la resistencia, es recomendable desconectar cualquier otro aparato dentro del laboratorio que no sea indispensable. Esto es para no sobrecargar las pastillas térmicas de la instalación y evitar que algún corto interrumpa la prueba.

Una vez que se haya completado el tiempo de medición se deberá recuperar los archivos Excel generados por LabView y procesar la prueba a un formato con los cálculos necesarios para obtener los coeficientes buscados.

8. Mantenimiento general.

El uso correcto de las partes del equipo para mediciones de conductividad térmica, resultará en muchos años de pruebas funcionales para diversas investigaciones que requieran probar sistemas alternos de construcción o nuevas técnicas constructivas.

Sin embargo en sus condiciones de diseño actuales, ciertas partes requieren mantenimiento constante para que funcionen debidamente. Algunas de estas son las siguientes:

Bolsas de gel refrigerante. Por el diseño que se optó para el funcionamiento de la placa fría, el constante congelamiento de las bolsas de gel es necesario para cada una de las pruebas. Debido a esto rupturas menores se presentan en las bolsas de gel y deben ser selladas con cinta o a través de pegamento de base silicona. Del mismo modo se debe tener cuidado de no tirar una bolsa congelada pues puede romperse por completo la bolsa y deberá desecharse.

Termopar del controlador placa caliente. Debido a que este cable se confina en una ranura hecha a la placa caliente se deberá tener especial cuidado al colocar una muestra dentro del equipo. Este cable esta reforzado por una pared metálica, sin embargo un jalón indebido o mal acomodo de una muestra podrá dañarlo.

Cables termopares. Es importante cuidarlos que en cada prueba que se realice, especialmente en la etapa de montaje de la muestra el equipo. Si un termopar es seccionado o expuesto el cable interno no funcionara correctamente y los datos que arroje serán erróneos.

Cable de conexión del equipo. Cada que se conecte el aparato para una medición es recomendable dejar en la medida de lo posible protegido el cable de alimentación al controlador de la resistencia. Con el objeto de que no sea seccionado o desconectado durante la prueba.

Controlador de la placa caliente. La caja que contiene la bobina, relevador y controlador de la resistencia eléctrica debe ser protegida durante cada prueba para evitar que se dañen sus componentes. Así mismo al ajustar la temperatura deseada con los botones de operación debe tenerse cuidado de no presionarlos en exceso causando un daño en la pantalla.

Resistencia eléctrica. Es la fuente de calor principal del equipo y debido a que su funcionamiento es bajo corriente eléctrica en algún momento deberá ser remplazada por una nueva resistencia. La vida de una resistencia con estas características es incierta, pero se estima una vida de uso de aproximadamente 5 años.

9. Observaciones y recomendaciones.

Debido a la cantidad de pruebas realizadas para esta investigación se ofrecen las siguientes recomendaciones y sugerencias de mejora al equipo, con la intención de que futuras investigaciones que ocupen el aparato obtengan los mejores resultados de cada una de las pruebas y su inversión de tiempo se lo más eficiente posible.

Duración las pruebas. La duración de cada prueba depende del tiempo que tarden la placa caliente y la placa fría en presentar una temperatura estable, este tiempo varía según la muestra de estudio que se coloca entre ambas placas. También depende de la cantidad de lecturas que se deseen obtener durante la operación en estado permanente, según la norma C518 – 10 de ASTM se requieren al menos 5 lecturas, aunque a mayor número de lecturas se pueden obtener promedios más acertados. Por lo que es necesario realizar un par de pruebas piloto para establecer los tiempos requeridos para cada muestra.

Adquisición de datos. Es muy recomendable llevar una bitácora de fechas y horas de encendido de cada una de las pruebas con el fin de poder procesar los datos de la forma más ordenada posible y no caer en confusión sobre ciertas lecturas o tener que repetir pruebas. Un registro básico es la fecha de inicio de la prueba, hora de encendido y apagado de la placa caliente, termino de la prueba.

Proceso de los datos. Para cada prueba se debe hacer un proceso de los datos de temperaturas obtenidos de los módulos e ingresarlo a fórmulas para obtener los coeficientes buscados. En cada caso se deben crear archivos Excel separados y determinar los tiempos de estado permanente para obtener de esta ventana los datos que servirán a los cálculos finales. En el presente trabajo se sugiere un formato para este proceso de datos que incluye además las gráficas de comportamiento de cada una de las placas y el promedio general. De este último

es de donde se obtienen los datos debido a que son valores del comportamiento total de la muestra.

Mejoras sugeridas al equipo:

Como parte de las conclusiones de este trabajo se sugieren el siguiente tipo de ajustes que pudieran mejorar las mediciones a realizar y reducir los tiempos de trabajo.

1.- La sustitución de la placa fría aquí descrita por un equipo de enfriamiento automático es probablemente el ajuste más relevante al equipo. Ya que el constante descongelamiento de las bolsas de gel debido al intercambio de calor con la placa caliente y con el ambiente reduce los tiempos en que se considera que la muestra se expuso a un estado estacionario. Por otro lado el tiempo de congelación de las bolsas de gel es de 30 horas aproximadamente lo que aumenta los tiempos totales de experimentación.

2.- El desarrollo de una aplicación u hoja de cálculo que permita promediar los datos obtenidos en las mediciones, la generación de gráficas y resultados de conductividad, conductancia, resistencia térmica, entre otras de forma automática.

3.- Dado que las muestras de estudio para un equipo de gran formato suelen tener peso considerable, una base móvil y giratoria que permitiera desplazar y colocar las muestras dentro y fuera del equipo sería una interesante mejora.

Anexo II. Pruebas completas conductancia térmica.

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel de tablaroca núcleo regular 27mm

Numero de prueba: TRNR001

Fecha: del 11 al 12 Junio 2014

Duración 23 horas

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 18:08hrs y las 18:56hrs del Miércoles 11 Junio.

Duración: 48min

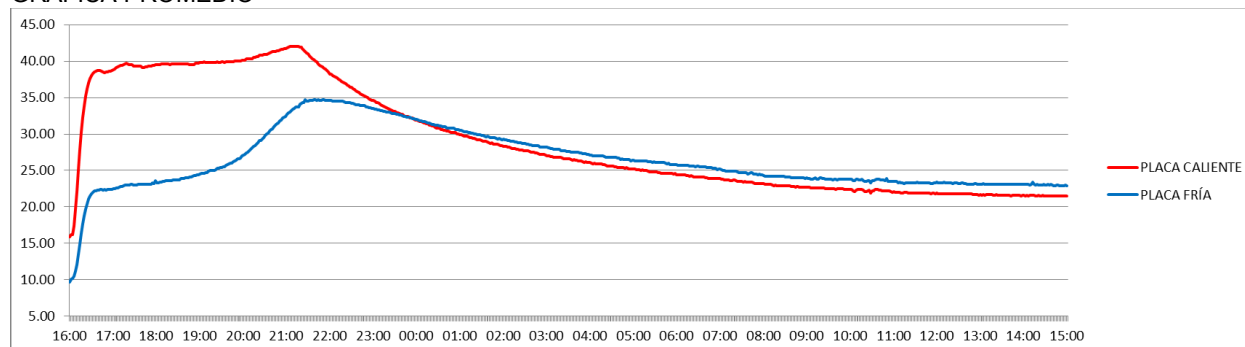
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Miércoles/11/Junio/2014	18:08	39.60	23.49	°C
Miércoles/11/Junio/2014	18:10	39.63	23.51	°C
Miércoles/11/Junio/2014	18:12	39.60	23.59	°C
Miércoles/11/Junio/2014	18:14	39.63	23.61	°C
Miércoles/11/Junio/2014	18:16	39.60	23.56	°C
Miércoles/11/Junio/2014	18:18	39.56	23.61	°C
Miércoles/11/Junio/2014	18:20	39.60	23.64	°C
Miércoles/11/Junio/2014	18:22	39.66	23.71	°C
Miércoles/11/Junio/2014	18:24	39.61	23.67	°C
Miércoles/11/Junio/2014	18:26	39.63	23.71	°C
PROMEDIOS		39.61	23.61	°C

Horas de prueba

INICIO	16:00	HRS	Miércoles 11 Junio
PRENDIDO PLACA CALIENTE	16:04	HRS	Miércoles 11 Junio
APAGADO PLACA CALIENTE	21:16	HRS	Miércoles 11 Junio
TERMINO	15:00	HRS	Jueves 12 Junio

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= área de medición	m²
L	= separación entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

P	=	194.51	W
A	=	1.00	m²
L	=	0.0131	m

RESULTADOS

C	=	12.1569	W/(m²*K)
λ	=	0.1593	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel de tablaroca núcleo regular 27mm

Numero de prueba: TRNR002

Fecha: del 19 al 20 Junio 2014

Duración 23 horas

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 17:55hrs y las 18:45hrs del Jueves 19 Junio.

Duración: 50min

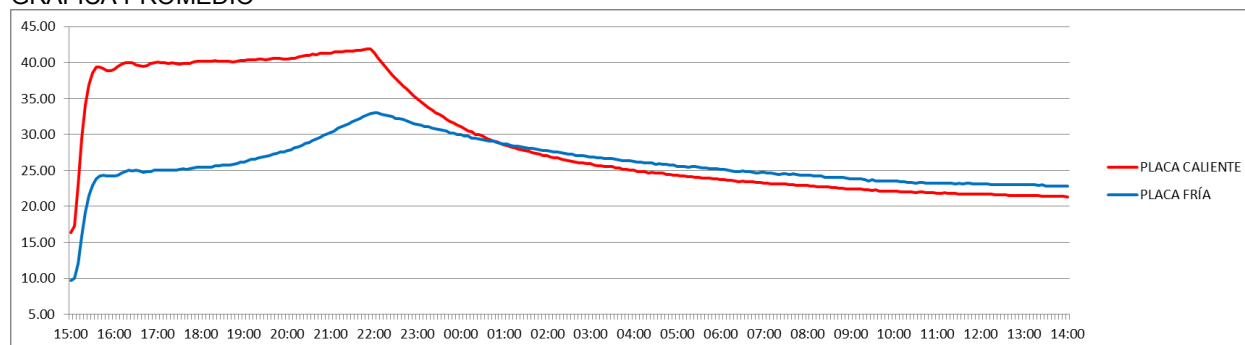
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Jueves/19/Junio/2014	17:55	40.17	25.43	°C
Jueves/19/Junio/2014	18:00	40.17	25.43	°C
Jueves/19/Junio/2014	18:05	40.14	25.47	°C
Jueves/19/Junio/2014	18:10	40.14	25.47	°C
Jueves/19/Junio/2014	18:15	40.17	25.49	°C
Jueves/19/Junio/2014	18:20	40.23	25.64	°C
Jueves/19/Junio/2014	18:25	40.20	25.63	°C
Jueves/19/Junio/2014	18:30	40.20	25.70	°C
Jueves/19/Junio/2014	18:35	40.14	25.70	°C
Jueves/19/Junio/2014	18:40	40.14	25.77	°C
PROMEDIOS		40.17	25.57	°C

Horas de prueba

INICIO	15:00	HRS	Jueves 19 Junio
PRENDIDO PLACA CALIENTE	15:05	HRS	Jueves 19 Junio
APAGADO PLACA CALIENTE	22:00	HRS	Jueves 19 Junio
TERMINO	14:00	HRS	Viernes 20 Junio

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

$$P = 194.51 \text{ W}$$

$$A = 1.00 \text{ m}^2$$

$$L = 0.0131 \text{ m}$$

RESULTADOS

C	=	13.3239	W/(m²*K)
λ	=	0.1745	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel de tablaroca núcleo regular 27mm

Numero de prueba: TRNR003

Fecha: del 25 al 26 Junio 2014

Duración 15 horas 15 minutos

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 5 minutos

Estado permanente entre las 19:30hrs y las 20:25hrs del Miércoles 25 Junio.

Duración: 55min

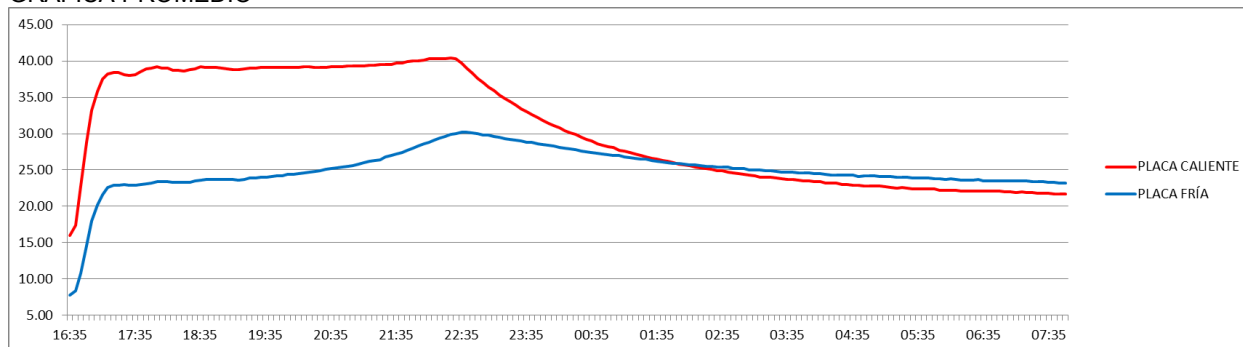
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Miércoles/25/Junio/2014	19:30	39.11	23.97	°C
Miércoles/25/Junio/2014	19:35	39.16	23.97	°C
Miércoles/25/Junio/2014	19:40	39.09	24.09	°C
Miércoles/25/Junio/2014	19:45	39.16	24.23	°C
Miércoles/25/Junio/2014	19:50	39.09	24.23	°C
Miércoles/25/Junio/2014	19:55	39.11	24.41	°C
Miércoles/25/Junio/2014	20:00	39.16	24.44	°C
Miércoles/25/Junio/2014	20:05	39.11	24.50	°C
Miércoles/25/Junio/2014	20:10	39.19	24.57	°C
Miércoles/25/Junio/2014	20:15	39.19	24.73	°C
PROMEDIOS		39.14	24.31	°C

Horas de prueba

INICIO	16:35	HRS	Miércoles 25 Junio
PRENDIDO PLACA CALIENTE	16:40	HRS	Miércoles 25 Junio
APAGADO PLACA CALIENTE	22:30	HRS	Miércoles 25 Junio
TERMINO	07:50	HRS	Jueves 26 Junio

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A * \Delta T}$$

$$\lambda = P * \left(\frac{L}{A * \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

$$P = 194.51 \text{ W}$$

$$A = 1.00 \text{ m}^2$$

$$L = 0.0131 \text{ m}$$

RESULTADOS

C	=	13.1236	W/(m²*K)
λ	=	0.1719	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel de tablaroca núcleo regular 27mm

Numero de prueba: TRNR004

Fecha: del 2 al 3 Julio 2014

Duración 24 horas

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 18:04hrs y las 19:14hrs del Miércoles 2 Julio.

Duración: 70min

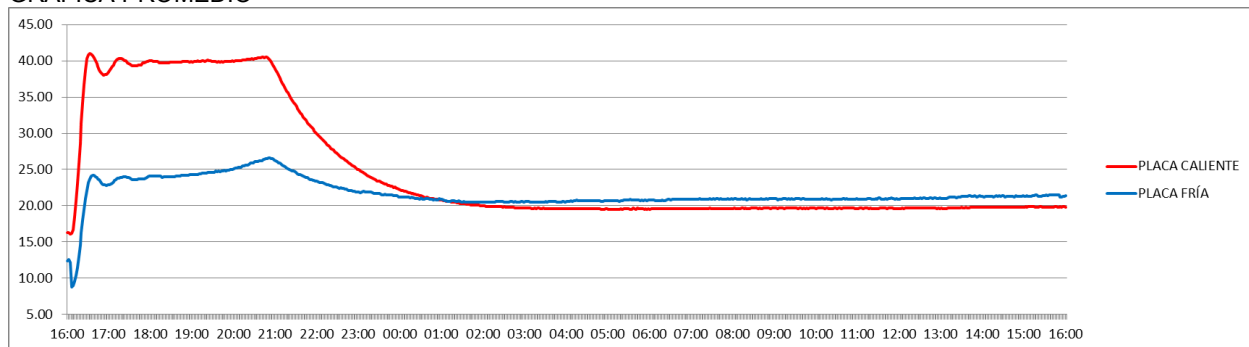
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Miércoles/02/Julio/2014	18:26	39.76	24.04	°C
Miércoles/02/Julio/2014	18:28	39.79	24.04	°C
Miércoles/02/Julio/2014	18:30	39.79	24.04	°C
Miércoles/02/Julio/2014	18:32	39.79	24.04	°C
Miércoles/02/Julio/2014	18:34	39.81	24.04	°C
Miércoles/02/Julio/2014	18:36	39.84	24.09	°C
Miércoles/02/Julio/2014	18:38	39.84	24.09	°C
Miércoles/02/Julio/2014	18:40	39.81	24.11	°C
Miércoles/02/Julio/2014	18:42	39.81	24.11	°C
Miércoles/02/Julio/2014	18:44	39.86	24.16	°C
PROMEDIOS		39.81	24.08	°C

Horas de prueba

INICIO	16:00	HRS	Miércoles 02 Julio
PRENDIDO PLACA CALIENTE	16:08	HRS	Miércoles 02 Julio
APAGADO PLACA CALIENTE	20:58	HRS	Miércoles 02 Julio
TERMINO	16:00	HRS	Jueves 03 Julio

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

P	=	194.51	W
A	=	1.00	m²
L	=	0.0131	m

RESULTADOS

C	=	12.3633	W/(m²*K)
λ	=	0.1620	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel de tablaroca núcleo regular 27mm

Numero de prueba: TRNR005

Fecha: del 14 al 15 Julio 2014

Duración 21 horas

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 20:58hrs y las 21:36hrs del Lunes 14 Julio.

Duración: 38min

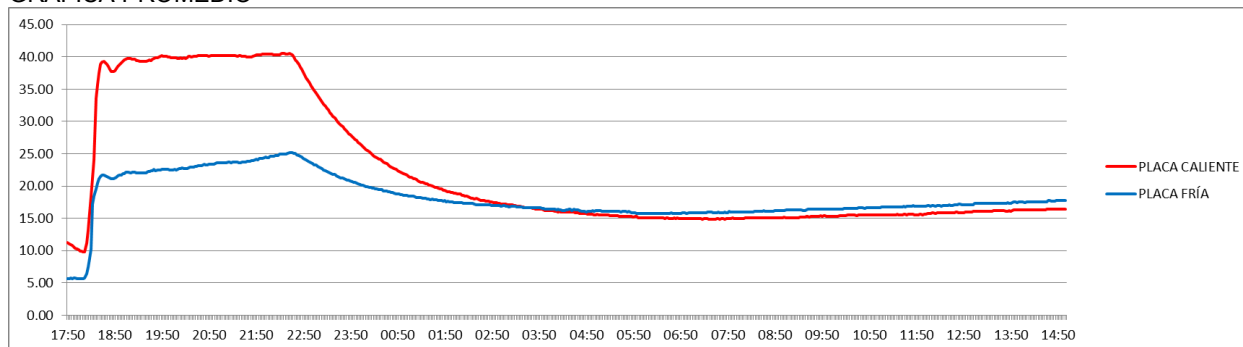
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Lunes/14/Julio/2014	21:00	40.24	23.54	°C
Lunes/14/Julio/2014	21:02	40.21	23.54	°C
Lunes/14/Julio/2014	21:04	40.21	23.54	°C
Lunes/14/Julio/2014	21:06	40.24	23.54	°C
Lunes/14/Julio/2014	21:08	40.24	23.54	°C
Lunes/14/Julio/2014	21:10	40.24	23.54	°C
Lunes/14/Julio/2014	21:12	40.16	23.54	°C
Lunes/14/Julio/2014	21:14	40.21	23.69	°C
Lunes/14/Julio/2014	21:16	40.24	23.66	°C
Lunes/14/Julio/2014	21:18	40.14	23.59	°C
PROMEDIOS		40.22	23.57	°C

Horas de prueba

INICIO	17:50	HRS	Lunes 14 Julio
PRENDIDO PLACA CALIENTE	18:14	HRS	Lunes 14 Julio
APAGADO PLACA CALIENTE	22:40	HRS	Lunes 14 Julio
TERMINO	15:00	HRS	Martes 15 Julio

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= área de medición	m²
L	= separación entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

P	=	194.51	W
A	=	1.00	m²
L	=	0.0131	m

RESULTADOS

C	=	11.6873	W/(m²*K)
λ	=	0.1531	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel de tablaroca núcleo regular 27mm

Numero de prueba: TRNR006

Fecha: del 28 al 29 Julio 2014

Duración 17 horas 35 minutos

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 16:35hrs y las 17:35hrs del Lunes 28 Julio.

Duración: 60min

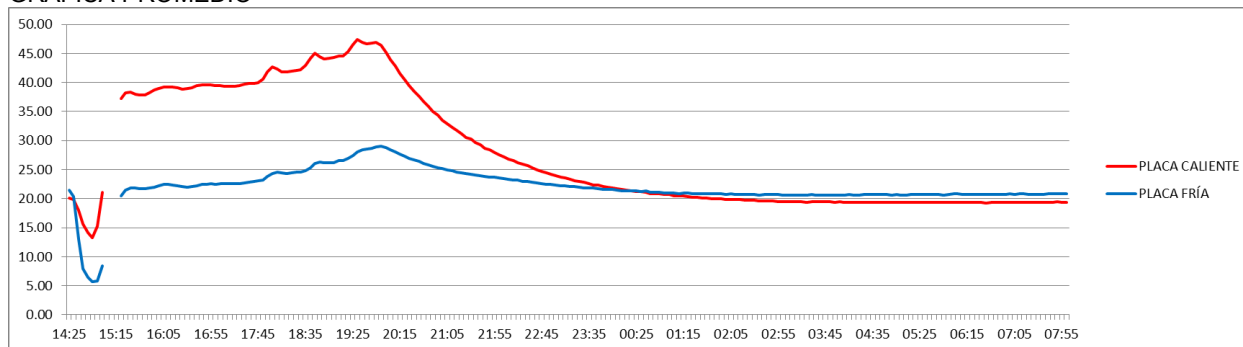
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Lunes/28/Julio/2014	16:35	39.09	22.14	°C
Lunes/28/Julio/2014	16:40	39.46	22.26	°C
Lunes/28/Julio/2014	16:45	39.60	22.44	°C
Lunes/28/Julio/2014	16:50	39.60	22.47	°C
Lunes/28/Julio/2014	16:55	39.60	22.57	°C
Lunes/28/Julio/2014	17:00	39.50	22.51	°C
Lunes/28/Julio/2014	17:05	39.50	22.54	°C
Lunes/28/Julio/2014	17:10	39.36	22.61	°C
Lunes/28/Julio/2014	17:15	39.36	22.59	°C
Lunes/28/Julio/2014	17:20	39.39	22.61	°C
PROMEDIOS		39.44	22.48	°C

Horas de prueba

INICIO	14:25	HRS	Lunes 28 Julio
PRENDIDO PLACA CALIENTE	14:50	HRS	Lunes 28 Julio
APAGADO PLACA CALIENTE	19:55	HRS	Lunes 28 Julio
TERMINO	08:00	HRS	Martes 29 Julio

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

$$P = 194.51 \text{ W}$$

$$A = 1.00 \text{ m}^2$$

$$L = 0.0131 \text{ m}$$

RESULTADOS

C	=	11.4630	W/(m²*K)
λ	=	0.1502	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque de Pared Única

Numero de prueba: BHPU001

Fecha: del 7 al 8 Agosto 2014

Duración 24 horas

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 17:24hrs y las 18:00hrs del Jueves 7 Agosto.

Duración: 46min

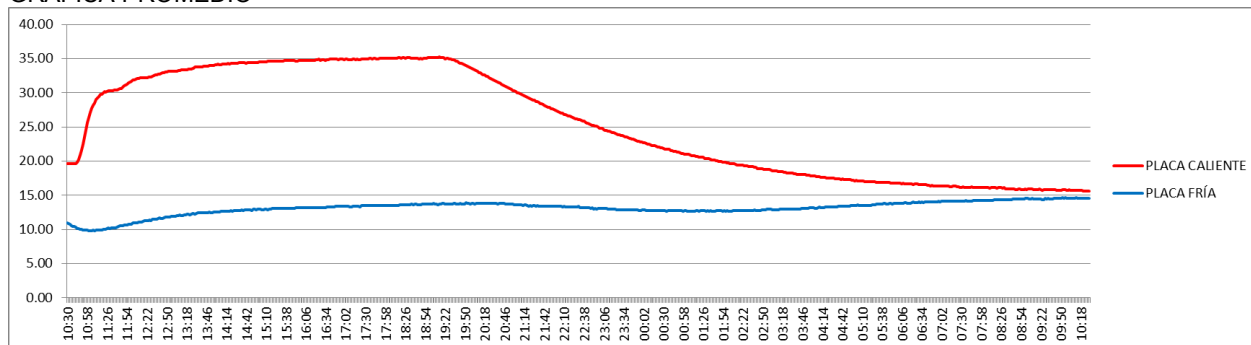
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Jueves/07/Agosto/2014	17:24	34.94	13.47	°C
Jueves/07/Agosto/2014	17:26	34.91	13.47	°C
Jueves/07/Agosto/2014	17:28	34.94	13.47	°C
Jueves/07/Agosto/2014	17:30	34.91	13.47	°C
Jueves/07/Agosto/2014	17:32	34.91	13.47	°C
Jueves/07/Agosto/2014	17:34	34.91	13.51	°C
Jueves/07/Agosto/2014	17:36	35.01	13.47	°C
Jueves/07/Agosto/2014	17:38	35.03	13.51	°C
Jueves/07/Agosto/2014	17:40	34.97	13.51	°C
Jueves/07/Agosto/2014	17:42	35.01	13.51	°C
PROMEDIOS		34.96	13.49	°C

Horas de prueba

INICIO	10:30	HRS	Jueves 7 Agosto
PRENDIDO PLACA CALIENTE	10:44	HRS	Jueves 7 Agosto
APAGADO PLACA CALIENTE	19:20	HRS	Jueves 7 Agosto
TERMINO	10:30	HRS	Viernes 8 Agosto

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

P	=	194.51	W
A	=	1.00	m²
L	=	0.1020	m

RESULTADOS

C	=	9.0602	W/(m²*K)
λ	=	0.9241	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque de Pared Única

Numero de prueba: BHPU002

Fecha: del 12 al 14 Agosto 2014

Duración 36 horas

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 00:06hrs y las 01:44hrs del Miércoles 13 Agosto.

Duración: 98min

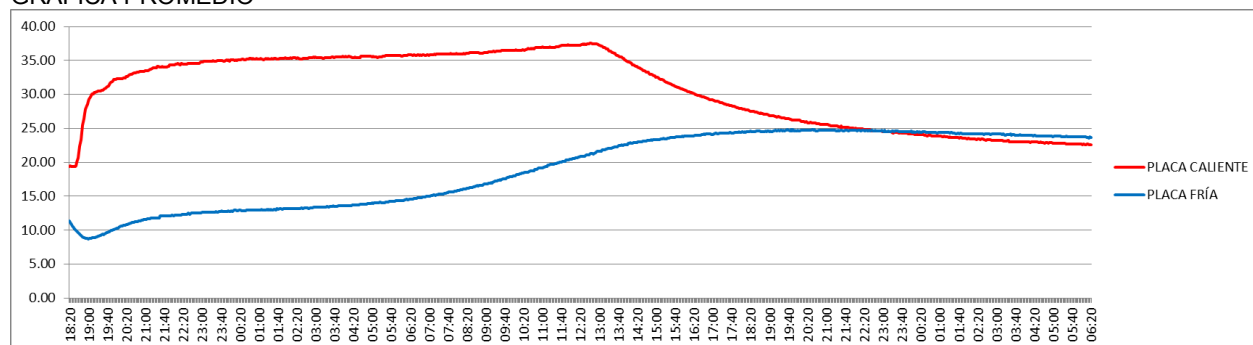
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Miércoles/13/Agosto/2014	00:42	35.26	12.96	°C
Miércoles/13/Agosto/2014	00:44	35.29	12.96	°C
Miércoles/13/Agosto/2014	00:46	35.19	12.96	°C
Miércoles/13/Agosto/2014	00:48	35.26	12.96	°C
Miércoles/13/Agosto/2014	00:50	35.20	12.96	°C
Miércoles/13/Agosto/2014	00:52	35.16	12.96	°C
Miércoles/13/Agosto/2014	00:54	35.16	12.96	°C
Miércoles/13/Agosto/2014	00:56	35.26	12.96	°C
Miércoles/13/Agosto/2014	00:58	35.19	12.96	°C
Miércoles/13/Agosto/2014	01:00	35.21	12.96	°C
PROMEDIOS		35.22	12.96	°C

Horas de prueba

INICIO	18:20	HRS	Martes 12 Agosto
PRENDIDO PLACA CALIENTE	18:34	HRS	Martes 12 Agosto
APAGADO PLACA CALIENTE	12:50	HRS	Miercoles 13 Agosto
TERMINO	06:20	HRS	Jueves 14 Agosto

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

P	=	194.51	W
A	=	1.00	m²
L	=	0.1020	m

RESULTADOS

C	=	8.7387	W/(m²*K)
λ	=	0.8913	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque de Pared Única

Numero de prueba: BHPU003

Fecha: del 16 al 18 Agosto 2014

Duración 35 horas

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 03:14hrs y las 04:34hrs del Domingo 17 Agosto.

Duración: 80min

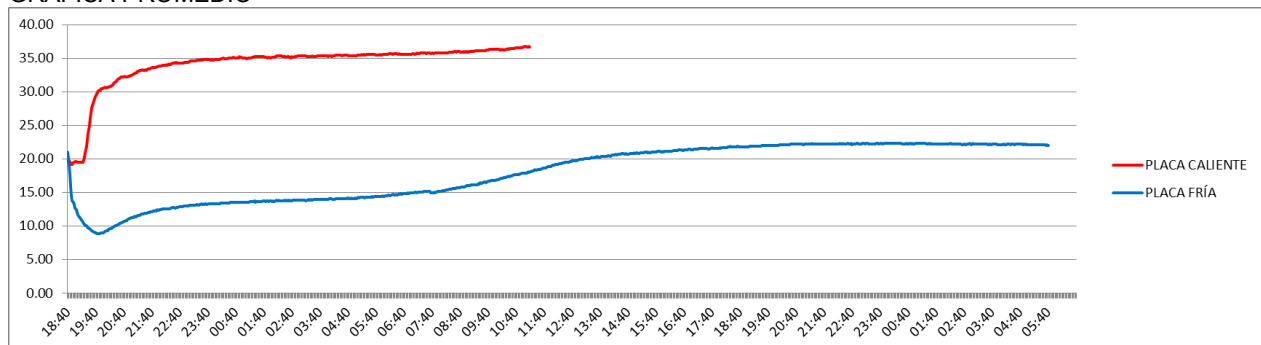
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Domingo/17/Agosto/2014	03:20	35.24	13.97	°C
Domingo/17/Agosto/2014	03:22	35.24	13.84	°C
Domingo/17/Agosto/2014	03:24	35.31	13.89	°C
Domingo/17/Agosto/2014	03:26	35.27	13.97	°C
Domingo/17/Agosto/2014	03:28	35.24	13.97	°C
Domingo/17/Agosto/2014	03:30	35.27	13.97	°C
Domingo/17/Agosto/2014	03:32	35.24	13.97	°C
Domingo/17/Agosto/2014	03:34	35.31	13.97	°C
Domingo/17/Agosto/2014	03:36	35.31	13.97	°C
Domingo/17/Agosto/2014	03:38	35.36	14.00	°C
PROMEDIOS		35.28	13.95	°C

Horas de prueba

INICIO	18:40	HRS	Sabado 16 Agosto
PRENDIDO PLACA CALIENTE	19:12	HRS	Sabado 16 Agosto
APAGADO PLACA CALIENTE	11:10	HRS	Domingo 17 Agosto
TERMINO	05:40	HRS	Lunes 18 Agosto

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

P	=	194.51	W
A	=	1.00	m²
L	=	0.1020	m

RESULTADOS

C	=	9.1197	W/(m²*K)
λ	=	0.9302	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque de Pared Única

Numero de prueba: BHPU004

Fecha: del 18 al 20 Agosto 2014

Duración 35 horas

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 04:32hrs y las 06:26hrs del Martes 19 Agosto.

Duración: 114min

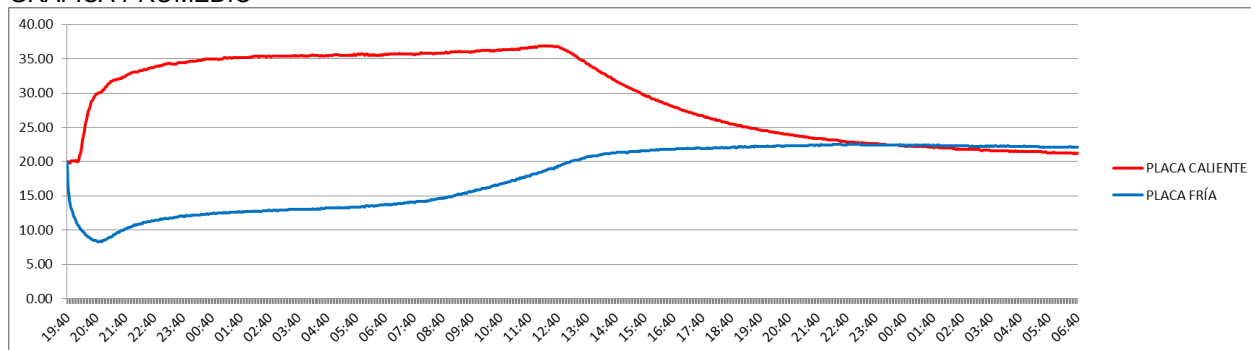
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Martes/19/Agosto/2014	04:36	35.41	13.21	°C
Martes/19/Agosto/2014	04:38	35.47	13.21	°C
Martes/19/Agosto/2014	04:40	35.44	13.21	°C
Martes/19/Agosto/2014	04:42	35.41	13.21	°C
Martes/19/Agosto/2014	04:44	35.47	13.21	°C
Martes/19/Agosto/2014	04:46	35.44	13.21	°C
Martes/19/Agosto/2014	04:48	35.47	13.21	°C
Martes/19/Agosto/2014	04:50	35.50	13.21	°C
Martes/19/Agosto/2014	04:52	35.44	13.21	°C
Martes/19/Agosto/2014	04:54	35.61	13.21	°C
PROMEDIOS		35.47	13.21	°C

Horas de prueba

INICIO	19:40	HRS	Lunes 18 Agosto
PRENDIDO PLACA CALIENTE	20:02	HRS	Lunes 18 Agosto
APAGADO PLACA CALIENTE	12:44	HRS	Martes 19 Agosto
TERMINO	06:40	HRS	Miercoles 20 Agosto

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

$$P = 194.51 \text{ W}$$

$$A = 1.00 \text{ m}^2$$

$$L = 0.1020 \text{ m}$$

RESULTADOS

C	=	8.7403	W/(m²*K)
λ	=	0.8915	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque de Pared Única

Numero de prueba: BHPU005

Fecha: del 20 al 21 Agosto 2014

Duración 29 horas

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 1 minuto

Estado permanente entre las 15:00hrs y las 16:20hrs del Miércoles 20 Agosto.

Duración: 80min

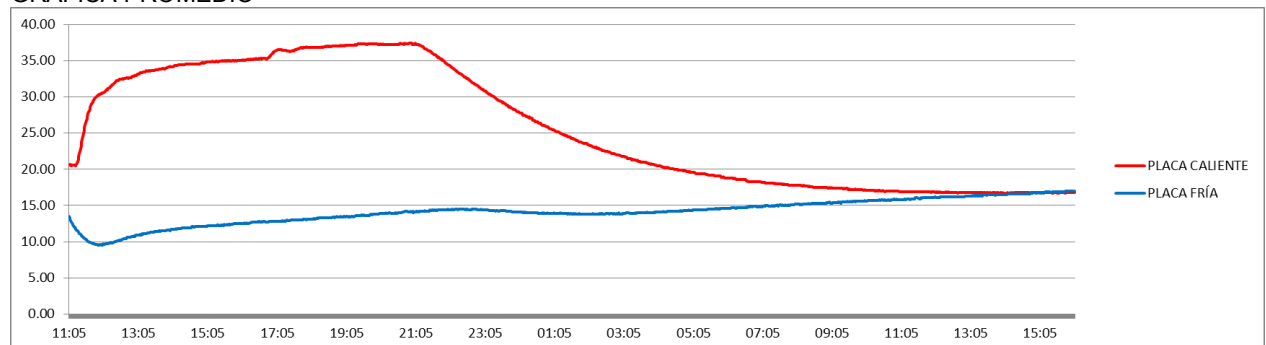
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Miércoles/20/Agosto/2014	15:11	34.79	12.24	°C
Miércoles/20/Agosto/2014	15:12	34.89	12.24	°C
Miércoles/20/Agosto/2014	15:13	34.89	12.24	°C
Miércoles/20/Agosto/2014	15:14	34.89	12.24	°C
Miércoles/20/Agosto/2014	15:15	34.79	12.24	°C
Miércoles/20/Agosto/2014	15:16	34.81	12.17	°C
Miércoles/20/Agosto/2014	15:17	34.79	12.24	°C
Miércoles/20/Agosto/2014	15:18	34.84	12.24	°C
Miércoles/20/Agosto/2014	15:19	34.89	12.24	°C
Miércoles/20/Agosto/2014	15:20	34.89	12.24	°C
PROMEDIOS		34.84	12.24	°C

Horas de prueba

INICIO	11:05	HRS	Miercoles 20 Agosto
PRENDIDO PLACA CALIENTE	11:17	HRS	Miercoles 20 Agosto
APAGADO PLACA CALIENTE	21:07	HRS	Miercoles 20 Agosto
TERMINO	16:05	HRS	Jueves 21 Agosto

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

P	=	194.51	W
A	=	1.00	m²
L	=	0.1020	m

RESULTADOS

C	=	8.6034	W/(m²*K)
λ	=	0.8775	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque de Pared Única

Numero de prueba: BHPU006

Fecha: del 26 al 28 Agosto 2014

Duración 28 horas 30 minutos

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 1 minuto

Estado permanente entre las 17:10hrs y las 19:20hrs del Martes 26 Agosto.

Duración: 130min

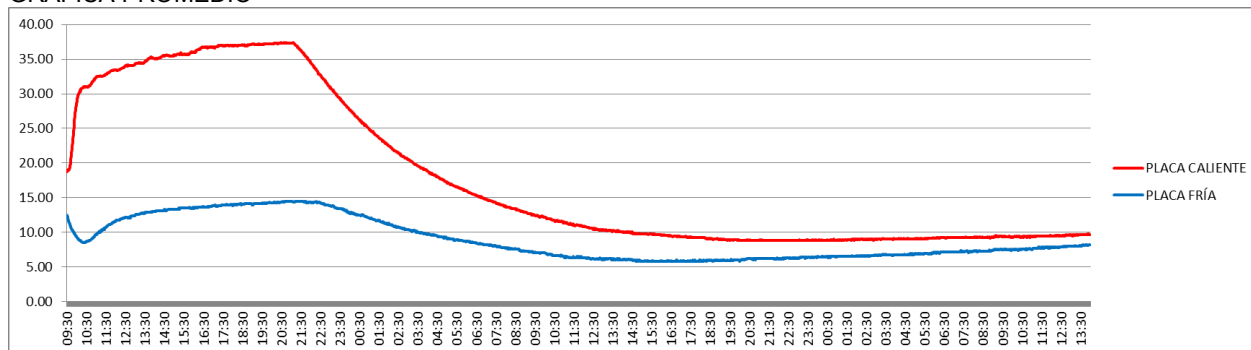
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Martes/26/Agosto/2014	17:29	36.94	13.94	°C
Martes/26/Agosto/2014	17:30	36.91	13.94	°C
Martes/26/Agosto/2014	17:31	36.94	13.94	°C
Martes/26/Agosto/2014	17:32	36.91	13.94	°C
Martes/26/Agosto/2014	17:33	36.91	13.94	°C
Martes/26/Agosto/2014	17:34	36.91	13.94	°C
Martes/26/Agosto/2014	17:35	36.91	13.94	°C
Martes/26/Agosto/2014	17:36	36.91	13.94	°C
Martes/26/Agosto/2014	17:37	36.94	13.94	°C
Martes/26/Agosto/2014	17:38	36.91	13.94	°C
PROMEDIOS		36.92	13.94	°C

Horas de prueba

INICIO	09:30	HRS	Martes 26 Agosto
PRENDIDO PLACA CALIENTE	09:37	HRS	Martes 26 Agosto
APAGADO PLACA CALIENTE	21:14	HRS	Martes 26 Agosto
TERMINO	14:00	HRS	Jueves 28 Agosto

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

$$P = 194.51 \text{ W}$$

$$A = 1.00 \text{ m}^2$$

$$L = 0.1020 \text{ m}$$

RESULTADOS

C	=	8.4643	W/(m²*K)
λ	=	0.8634	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel Tablaroca Anti-moho 27mm

Numero de prueba: TRAM001

Fecha: del 4 al 5 Octubre 2014

Duración 20 horas

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 16:36hrs y las 17:40hrs del Sábado 4 Octubre.

Duración: 56min

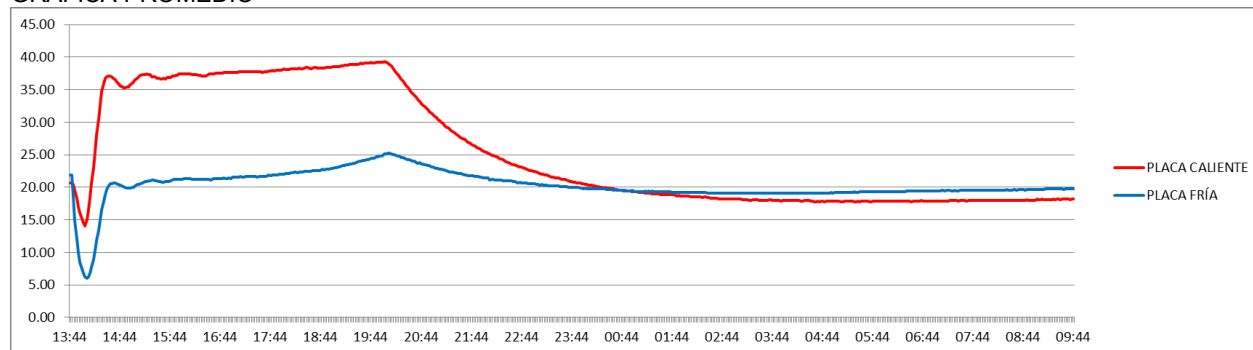
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Sábado/04/Octubre/2014	16:52	37.69	21.37	°C
Sábado/04/Octubre/2014	16:54	37.69	21.49	°C
Sábado/04/Octubre/2014	16:56	37.69	21.39	°C
Sábado/04/Octubre/2014	16:58	37.69	21.53	°C
Sábado/04/Octubre/2014	17:00	37.69	21.50	°C
Sábado/04/Octubre/2014	17:02	37.69	21.56	°C
Sábado/04/Octubre/2014	17:04	37.69	21.56	°C
Sábado/04/Octubre/2014	17:06	37.71	21.56	°C
Sábado/04/Octubre/2014	17:08	37.77	21.66	°C
Sábado/04/Octubre/2014	17:10	37.80	21.59	°C
PROMEDIOS		37.71	21.52	°C

Horas de prueba

INICIO	13:44	HRS	Sabado 4 Octubre
PRENDIDO PLACA CALIENTE	14:02	HRS	Sabado 4 Octubre
APAGADO PLACA CALIENTE	20:08	HRS	Sabado 4 Octubre
TERMINO	09:44	HRS	Domingo 5 Octubre

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

$$P = 194.51 \text{ W}$$

$$A = 1.00 \text{ m}^2$$

$$L = 0.0131 \text{ m}$$

RESULTADOS

C	=	12.0142	W/(m²*K)
λ	=	0.1574	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel Tablaroca Anti-moho 27mm

Numero de prueba: TRAM002

Fecha: del 6 al 7 Octubre 2014

Duración 24 horas

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 13:02hrs y las 14:12hrs del Lunes 6 Octubre.

Duración: 70min

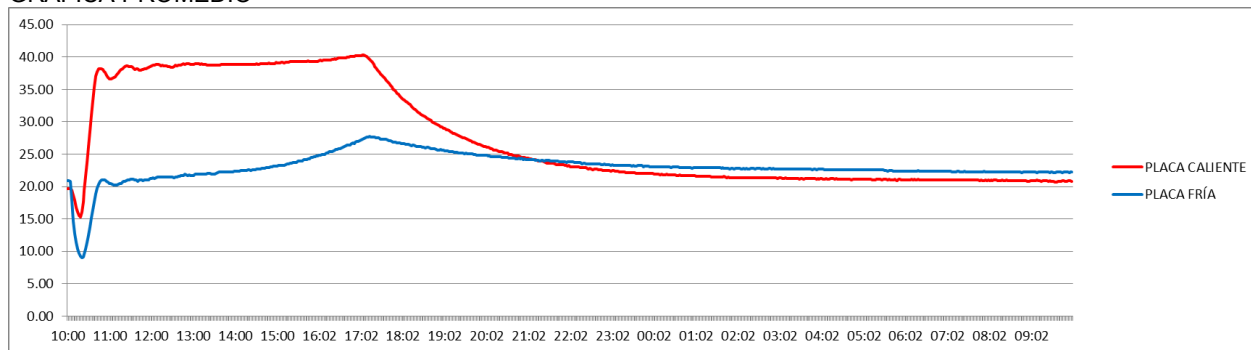
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Lunes/06/Octubre/2014	13:36	38.74	22.23	°C
Lunes/06/Octubre/2014	13:38	38.71	22.20	°C
Lunes/06/Octubre/2014	13:40	38.89	22.23	°C
Lunes/06/Octubre/2014	13:42	38.89	22.23	°C
Lunes/06/Octubre/2014	13:44	38.89	22.23	°C
Lunes/06/Octubre/2014	13:46	38.89	22.20	°C
Lunes/06/Octubre/2014	13:48	38.81	22.29	°C
Lunes/06/Octubre/2014	13:50	38.89	22.29	°C
Lunes/06/Octubre/2014	13:52	38.89	22.29	°C
Lunes/06/Octubre/2014	13:54	38.89	22.26	°C
PROMEDIOS		38.85	22.24	°C

Horas de prueba

INICIO	10:00	HRS	Lunes 6 Octubre
PRENDIDO PLACA CALIENTE	10:18	HRS	Lunes 6 Octubre
APAGADO PLACA CALIENTE	17:14	HRS	Lunes 6 Octubre
TERMINO	10:00	HRS	Martes 7 Octubre

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

$$P = 194.51 \text{ W}$$

$$A = 1.00 \text{ m}^2$$

$$L = 0.0131 \text{ m}$$

RESULTADOS

C	=	11.7144	W/(m²*K)
λ	=	0.1535	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel Tablaroca Anti-moho 27mm

Numero de prueba: TRAM003

Fecha: del 14 al 15 Octubre 2014

Duración 24 horas

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 13:02hrs y las 14:04hrs del Martes 14 Octubre.

Duración: 62min

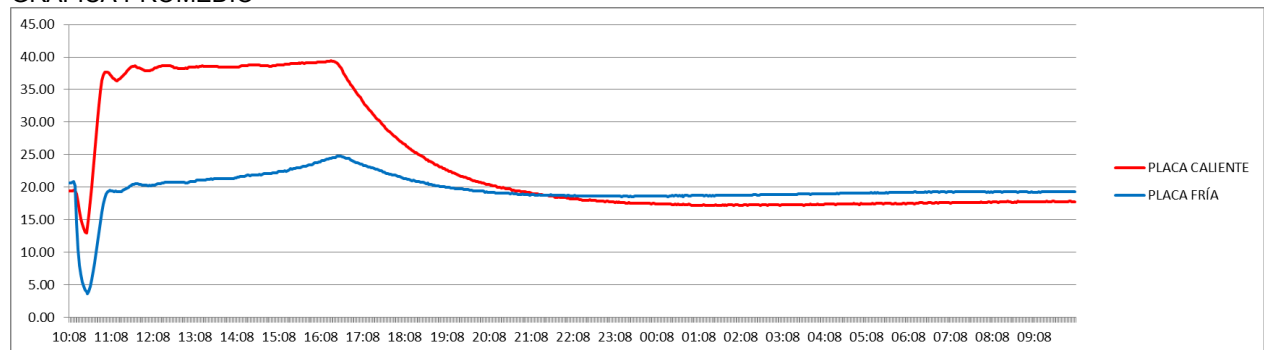
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Martes/14/Octubre/2014	13:10	38.57	21.04	°C
Martes/14/Octubre/2014	13:12	38.50	21.04	°C
Martes/14/Octubre/2014	13:14	38.60	21.04	°C
Martes/14/Octubre/2014	13:16	38.60	21.04	°C
Martes/14/Octubre/2014	13:18	38.63	21.09	°C
Martes/14/Octubre/2014	13:20	38.60	21.09	°C
Martes/14/Octubre/2014	13:22	38.60	21.11	°C
Martes/14/Octubre/2014	13:24	38.54	21.20	°C
Martes/14/Octubre/2014	13:26	38.57	21.20	°C
Martes/14/Octubre/2014	13:28	38.60	21.20	°C
PROMEDIOS		38.58	21.11	°C

Horas de prueba

INICIO	10:08	HRS	Martes 14 Octubre
PRENDIDO PLACA CALIENTE	10:32	HRS	Martes 14 Octubre
APAGADO PLACA CALIENTE	16:38	HRS	Martes 14 Octubre
TERMINO	10:08	HRS	Miercoles 15 Octubre

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

$$P = 194.51 \text{ W}$$

$$A = 1.00 \text{ m}^2$$

$$L = 0.0131 \text{ m}$$

RESULTADOS

C	=	11.1303	W/(m²*K)
λ	=	0.1458	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel Tablaroca Anti-moho 27mm

Numero de prueba: TRAM004

Fecha: del 17 Octubre 2014

Duración 9 horas 32 minutos

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 13:56hrs y las 15:12hrs del Viernes 17 Octubre.

Duración: 76min

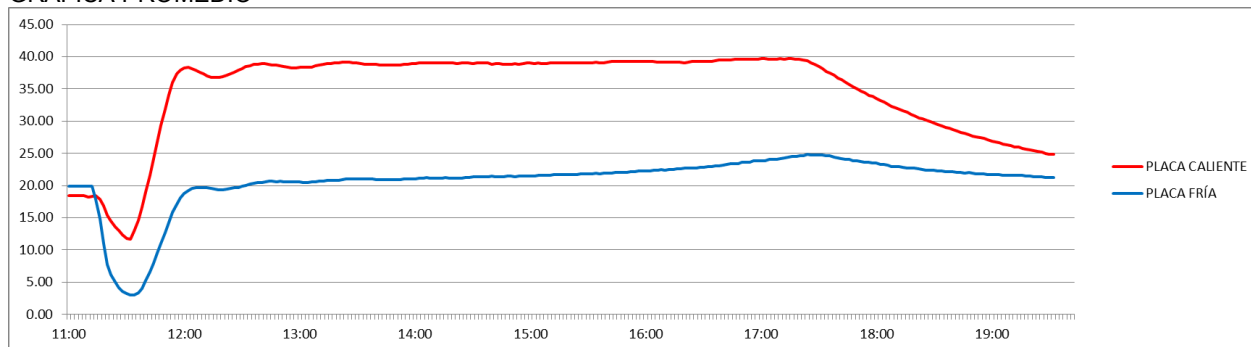
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Viernes/17/Octubre/2014	14:08	39.10	21.17	°C
Viernes/17/Octubre/2014	14:10	39.10	21.20	°C
Viernes/17/Octubre/2014	14:12	39.10	21.17	°C
Viernes/17/Octubre/2014	14:14	39.10	21.17	°C
Viernes/17/Octubre/2014	14:16	39.10	21.24	°C
Viernes/17/Octubre/2014	14:18	39.10	21.17	°C
Viernes/17/Octubre/2014	14:20	39.07	21.14	°C
Viernes/17/Octubre/2014	14:22	38.91	21.14	°C
Viernes/17/Octubre/2014	14:24	39.07	21.14	°C
Viernes/17/Octubre/2014	14:26	39.00	21.21	°C
PROMEDIOS		39.07	21.18	°C

Horas de prueba

INICIO	11:00	HRS	Viernes 17 Octubre
PRENDIDO PLACA CALIENTE	11:32	HRS	Viernes 17 Octubre
APAGADO PLACA CALIENTE	17:32	HRS	Viernes 17 Octubre
TERMINO	19:32	HRS	Viernes 17 Octubre

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

P	=	194.51	W
A	=	1.00	m²
L	=	0.0131	m

RESULTADOS

C	=	10.8734	W/(m²*K)
λ	=	0.1424	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel Tablaroca Anti-moho 27mm

Numero de prueba: TRAM005

Fecha: del 18 al 19 Octubre 2014

Duración 24 horas

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 14:18hrs y las 15:16hrs del Sábado 18 Octubre.

Duración: 58min

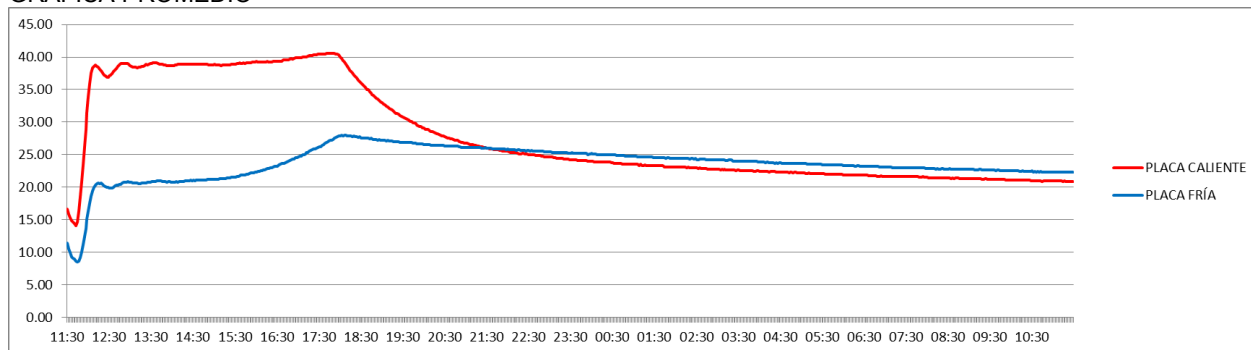
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Sábado/18/Octubre/2014	14:30	38.93	21.11	°C
Sábado/18/Octubre/2014	14:32	38.93	21.01	°C
Sábado/18/Octubre/2014	14:34	38.93	21.06	°C
Sábado/18/Octubre/2014	14:36	38.93	21.11	°C
Sábado/18/Octubre/2014	14:38	38.90	21.09	°C
Sábado/18/Octubre/2014	14:40	38.93	21.11	°C
Sábado/18/Octubre/2014	14:42	38.90	21.14	°C
Sábado/18/Octubre/2014	14:44	38.93	21.14	°C
Sábado/18/Octubre/2014	14:46	38.87	21.14	°C
Sábado/18/Octubre/2014	14:48	38.90	21.14	°C
PROMEDIOS		38.91	21.11	°C

Horas de prueba

INICIO	11:30	HRS	Sabado 18 Octubre
PRENDIDO PLACA CALIENTE	11:44	HRS	Sabado 18 Octubre
APAGADO PLACA CALIENTE	17:58	HRS	Sabado 18 Octubre
TERMINO	11:30	HRS	Domingo 19 Octubre

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

P	=	194.51	W
A	=	1.00	m²
L	=	0.0131	m

RESULTADOS

C	=	10.9231	W/(m²*K)
λ	=	0.1431	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel Tablaroca Anti-moho 27mm

Numero de prueba: TRAM006

Fecha: del 20 al 21 Octubre 2014

Duración 22 horas 20 minutos

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 15:02hrs y las 16:00hrs del Lunes 20 Octubre.

Duración: 58min

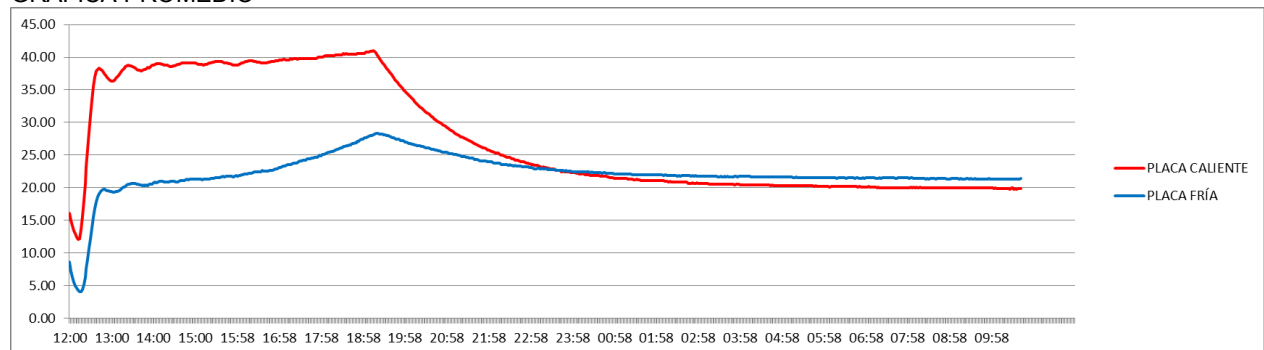
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Lunes/20/Octubre/2014	15:46	38.96	21.71	°C
Lunes/20/Octubre/2014	15:48	38.96	21.79	°C
Lunes/20/Octubre/2014	15:50	38.93	21.79	°C
Lunes/20/Octubre/2014	15:52	38.74	21.67	°C
Lunes/20/Octubre/2014	15:54	38.80	21.76	°C
Lunes/20/Octubre/2014	15:56	38.83	21.84	°C
Lunes/20/Octubre/2014	15:58	38.80	21.79	°C
Lunes/20/Octubre/2014	16:00	38.87	21.84	°C
Lunes/20/Octubre/2014	16:02	39.03	21.84	°C
Lunes/20/Octubre/2014	16:04	39.07	21.94	°C
PROMEDIOS		38.90	21.80	°C

Horas de prueba

INICIO	12:00	HRS	Lunes 20 Octubre
PRENDIDO PLACA CALIENTE	12:14	HRS	Lunes 20 Octubre
APAGADO PLACA CALIENTE	19:22	HRS	Lunes 20 Octubre
TERMINO	10:40	HRS	Martes 21 Octubre

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

$$P = 194.51 \text{ W}$$

$$A = 1.00 \text{ m}^2$$

$$L = 0.0131 \text{ m}$$

RESULTADOS

C	=	11.3739	W/(m²*K)
λ	=	0.1490	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque de Doble Pared

Numero de prueba: BHDP001

Fecha: del 29 al 31 Octubre 2014

Duración 50 horas 20 minutos

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 02:08hrs y las 04:18hrs del Jueves 30 Octubre.

Duración: 130min

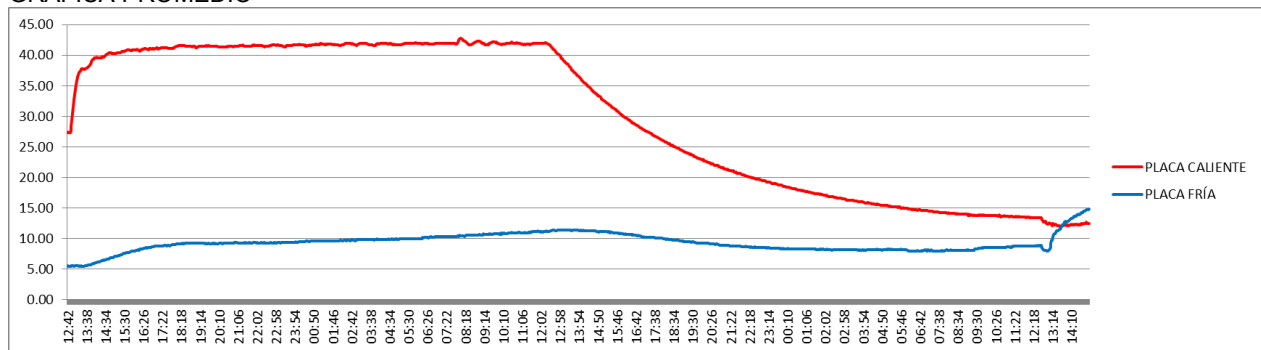
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Jueves/30/Octubre/2014	03:00	41.74	9.80	°C
Jueves/30/Octubre/2014	03:02	41.79	9.83	°C
Jueves/30/Octubre/2014	03:04	41.84	9.80	°C
Jueves/30/Octubre/2014	03:06	41.90	9.83	°C
Jueves/30/Octubre/2014	03:08	41.90	9.83	°C
Jueves/30/Octubre/2014	03:10	41.96	9.91	°C
Jueves/30/Octubre/2014	03:12	41.96	9.80	°C
Jueves/30/Octubre/2014	03:14	41.96	9.83	°C
Jueves/30/Octubre/2014	03:16	41.96	9.80	°C
Jueves/30/Octubre/2014	03:18	41.96	9.87	°C
PROMEDIOS		41.90	9.83	°C

Horas de prueba

INICIO	12:42	HRS	Miercoles 29 Octubre
PRENDIDO PLACA CALIENTE	12:42	HRS	Miercoles 29 Octubre
APAGADO PLACA CALIENTE	12:18	HRS	Jueves 30 Octubre
TERMINO	15:02	HRS	Viernes 31 Octubre

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

P	=	194.51	W
A	=	1.00	m²
L	=	0.0131	m

RESULTADOS

C	=	6.0660	W/(m²*K)
λ	=	0.9281	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque de Doble Pared

Numero de prueba: BHDP002

Fecha: del 3 al 4 Noviembre 2014

Duración 34 horas 18 minutos

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 03:16hrs y las 06:26hrs del Martes 4 Noviembre.

Duración: 190min

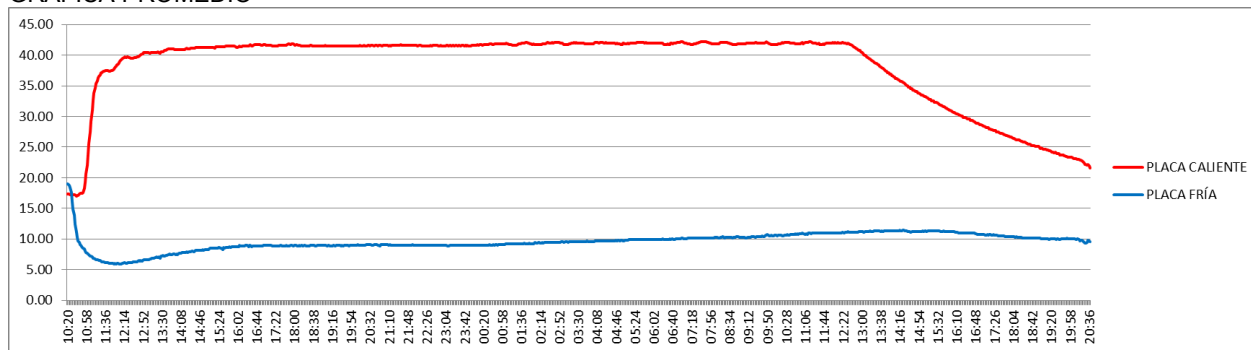
Tabla con 10 valores estables continuos.

Horas de prueba

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Martes/04/Noviembre/2014	05:42	42.07	9.91	°C
Martes/04/Noviembre/2014	05:44	41.99	9.91	°C
Martes/04/Noviembre/2014	05:46	42.04	9.91	°C
Martes/04/Noviembre/2014	05:48	41.99	9.91	°C
Martes/04/Noviembre/2014	05:50	41.99	9.91	°C
Martes/04/Noviembre/2014	05:52	41.99	9.91	°C
Martes/04/Noviembre/2014	05:54	41.99	9.91	°C
Martes/04/Noviembre/2014	05:56	41.99	9.91	°C
Martes/04/Noviembre/2014	05:58	41.99	9.91	°C
Martes/04/Noviembre/2014	06:00	41.99	9.91	°C
	PROMEDIOS	42.00	9.91	°C

INICIO	10:20	HRS	Lunes 3 Noviembre
PRENDIDO PLACA CALIENTE	10:52	HRS	Lunes 3 Noviembre
APAGADO PLACA CALIENTE	12:34	HRS	Martes 4 Noviembre
TERMINO	20:38	HRS	Martes 4 Noviembre

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

$$P = 194.51 \text{ W}$$

$$A = 1.00 \text{ m}^2$$

$$L = 0.153 \text{ m}$$

RESULTADOS

C	=	6.0622	W/(m²*K)
λ	=	0.9275	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque de Doble Pared

Numero de prueba: BHDP003

Fecha: del 11 al 13 Noviembre 2014

Duración 51 horas 14 minutos

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 01:30hrs y las 03:14hrs del Miércoles 12 Noviembre.

Duración: 104min

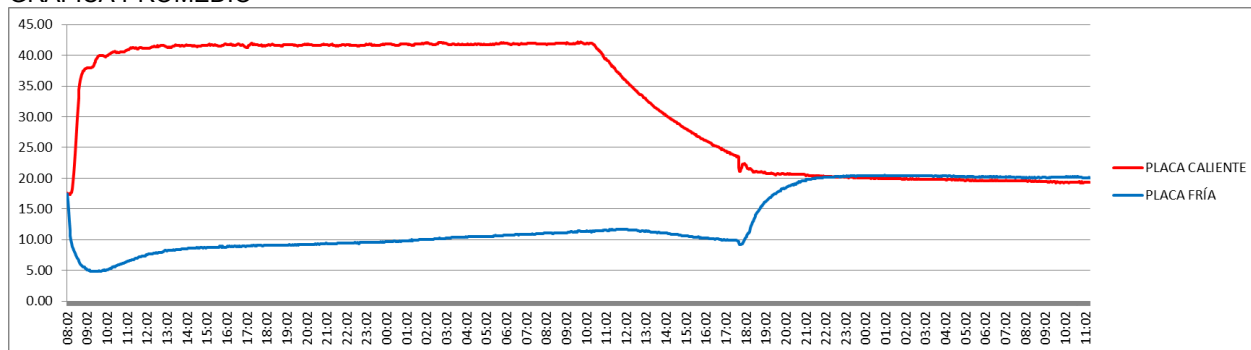
Tabla con 10 valores estables continuos.

Horas de prueba

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Miércoles/12/Noviembre/2014	01:22	41.74	9.87	°C
Miércoles/12/Noviembre/2014	01:24	41.64	9.90	°C
Miércoles/12/Noviembre/2014	01:26	41.80	9.90	°C
Miércoles/12/Noviembre/2014	01:28	41.84	9.90	°C
Miércoles/12/Noviembre/2014	01:30	41.84	9.93	°C
Miércoles/12/Noviembre/2014	01:32	41.87	9.93	°C
Miércoles/12/Noviembre/2014	01:34	41.87	9.93	°C
Miércoles/12/Noviembre/2014	01:36	41.84	9.90	°C
Miércoles/12/Noviembre/2014	01:38	41.80	9.94	°C
Miércoles/12/Noviembre/2014	01:40	41.80	9.99	°C
PROMEDIOS		41.81	9.92	°C

INICIO	08:02	HRS	Martes 11 Noviembre
PRENDIDO PLACA CALIENTE	08:14	HRS	Martes 11 Noviembre
APAGADO PLACA CALIENTE	10:14	HRS	Miercoles 12 Noviembre
TERMINO	11:16	HRS	Jueves 13 Noviembre

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

P	=	194.51	W
A	=	1.00	m²
L	=	0.153	m

RESULTADOS

C	=	6.1000	W/(m²*K)
λ	=	0.9333	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque de Doble Pared

Numero de prueba: BHDP004

Fecha: del 14 al 16 Noviembre 2014

Duración 52 horas

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 03:24hrs y las 05:30hrs del Sábado 15 Noviembre.

Duración: 104min

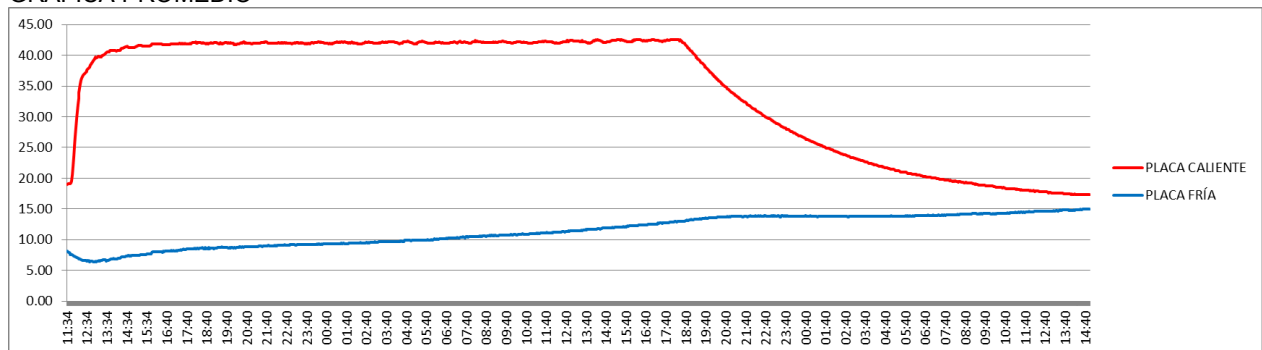
Tabla con 10 valores estables continuos.

Horas de prueba

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Sábado/15/Noviembre/2014	03:44	42.16	9.70	°C
Sábado/15/Noviembre/2014	03:46	42.16	9.70	°C
Sábado/15/Noviembre/2014	03:48	42.16	9.70	°C
Sábado/15/Noviembre/2014	03:50	42.16	9.70	°C
Sábado/15/Noviembre/2014	03:52	42.16	9.70	°C
Sábado/15/Noviembre/2014	03:54	42.16	9.70	°C
Sábado/15/Noviembre/2014	03:56	42.16	9.70	°C
Sábado/15/Noviembre/2014	03:58	42.16	9.70	°C
Sábado/15/Noviembre/2014	04:00	42.16	9.70	°C
Sábado/15/Noviembre/2014	04:02	42.24	9.70	°C
	PROMEDIOS	42.17	9.70	°C

INICIO	11:34	HRS	Viernes 14 Noviembre
PRENDIDO PLACA CALIENTE	11:45	HRS	Viernes 14 Noviembre
APAGADO PLACA CALIENTE	18:20	HRS	Sabado 15 Noviembre
TERMINO	15:34	HRS	Domingo 16 Noviembre

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

P	=	194.51	W
A	=	1.00	m²
L	=	0.153	m

RESULTADOS

C	=	5.9912	W/(m²*K)
λ	=	0.9167	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque de Doble Pared

Numero de prueba: BHDP005

Fecha: del 18 al 20 Noviembre 2014

Duración 53 horas

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 03:24hrs y las 05:30hrs del Miércoles 19 Noviembre.

Duración: 104min

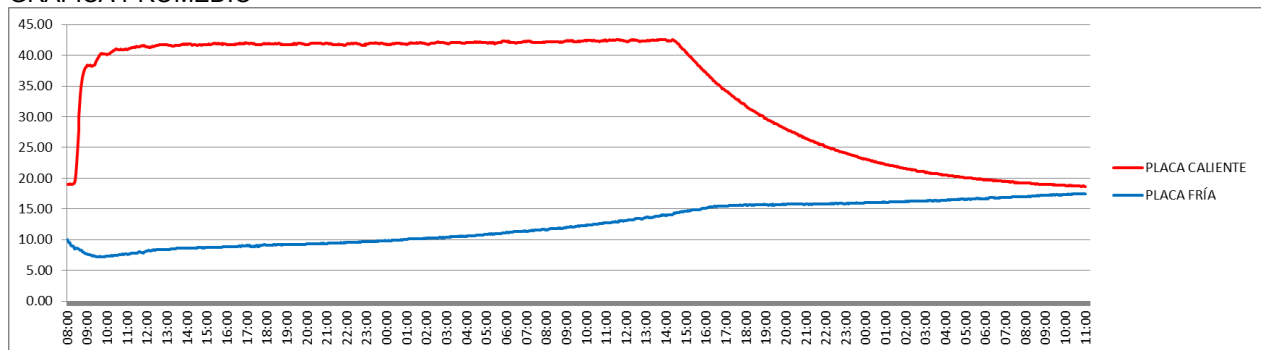
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Miércoles/19/Noviembre/2014	01:04	41.81	10.09	°C
Miércoles/19/Noviembre/2014	01:06	41.87	10.09	°C
Miércoles/19/Noviembre/2014	01:08	41.90	10.09	°C
Miércoles/19/Noviembre/2014	01:10	41.90	10.09	°C
Miércoles/19/Noviembre/2014	01:12	41.93	10.09	°C
Miércoles/19/Noviembre/2014	01:14	42.07	10.09	°C
Miércoles/19/Noviembre/2014	01:16	42.00	10.09	°C
Miércoles/19/Noviembre/2014	01:18	41.99	10.09	°C
Miércoles/19/Noviembre/2014	01:20	41.93	10.09	°C
Miércoles/19/Noviembre/2014	01:22	41.96	10.09	°C
PROMEDIOS		41.94	10.09	°C

Horas de prueba

INICIO	08:00	HRS	Martes 18 Noviembre
PRENDIDO PLACA CALIENTE	08:20	HRS	Martes 18 Noviembre
APAGADO PLACA CALIENTE	13:20	HRS	Miercoles 19 Noviembre
TERMINO	11:00	HRS	Jueves 20 Noviembre

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

P	=	194.51	W
A	=	1.00	m²
L	=	0.153	m

RESULTADOS

C	=	6.1071	W/(m²*K)
λ	=	0.9344	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque de Doble Pared

Numero de prueba: BHDP006

Fecha: del 28 al 30 Noviembre 2014

Duración 47 horas 30 minutos

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 23:16hrs y las 01:16hrs del Sábado 29 Noviembre.

Duración: 120min

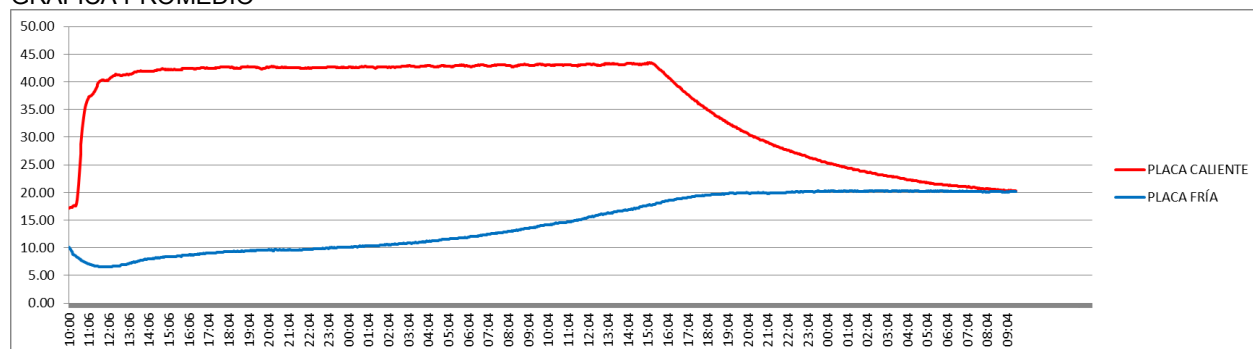
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Viernes/28/Noviembre/2014	23:50	42.64	10.11	°C
Viernes/28/Noviembre/2014	23:52	42.51	10.11	°C
Viernes/28/Noviembre/2014	23:54	42.57	10.11	°C
Viernes/28/Noviembre/2014	23:56	42.54	10.11	°C
Viernes/28/Noviembre/2014	23:58	42.61	10.11	°C
Sábado/29/Noviembre/2014	00:00	42.61	10.11	°C
Sábado/29/Noviembre/2014	00:02	42.54	10.16	°C
Sábado/29/Noviembre/2014	00:04	42.70	10.16	°C
Sábado/29/Noviembre/2014	00:06	42.70	10.16	°C
Sábado/29/Noviembre/2014	00:08	42.67	10.11	°C
PROMEDIOS		42.61	10.13	°C

Horas de prueba

INICIO	10:00	HRS	Viernes 28 Noviembre
PRENDIDO PLACA CALIENTE	10:10	HRS	Viernes 28 Noviembre
APAGADO PLACA CALIENTE	13:20	HRS	Sabado 29 Noviembre
TERMINO	09:30	HRS	Domingo 30 Noviembre

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

$$P = 194.51 \text{ W}$$

$$A = 1.00 \text{ m}^2$$

$$L = 0.153 \text{ m}$$

RESULTADOS

C	=	5.9878	W/(m²*K)
λ	=	0.9161	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque de Encementado

Numero de prueba: BHEC001

Fecha: del 15 al 16 Enero 2015

Duración 24 horas

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 01:00hrs y las 03:00hrs del Viernes 16 Enero.

Duración: 120min

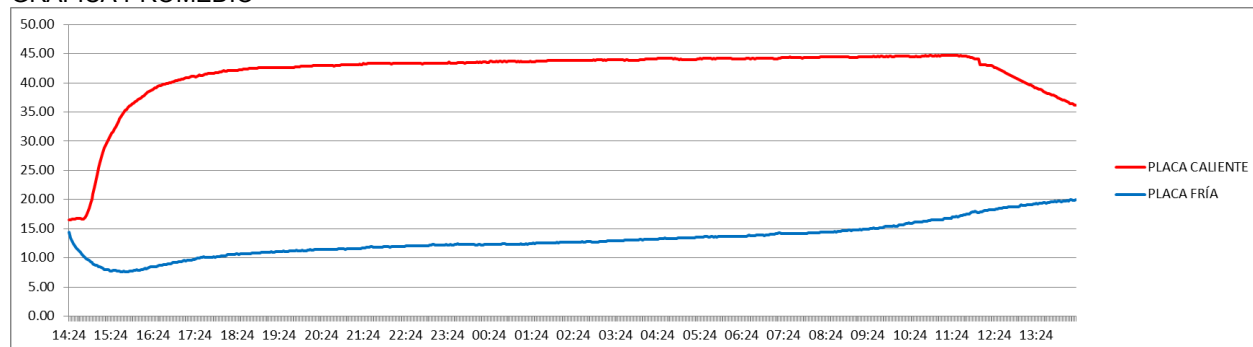
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Viernes/16/Enero/2015	02:06	43.83	12.66	°C
Viernes/16/Enero/2015	02:08	43.87	12.66	°C
Viernes/16/Enero/2015	02:10	43.87	12.66	°C
Viernes/16/Enero/2015	02:12	43.83	12.66	°C
Viernes/16/Enero/2015	02:14	43.83	12.66	°C
Viernes/16/Enero/2015	02:16	43.83	12.66	°C
Viernes/16/Enero/2015	02:18	43.83	12.66	°C
Viernes/16/Enero/2015	02:20	43.87	12.69	°C
Viernes/16/Enero/2015	02:22	43.83	12.69	°C
Viernes/16/Enero/2015	02:24	43.83	12.66	°C
PROMEDIOS		43.84	12.66	°C

Horas de prueba

INICIO	14:24	HRS	Jueves 15 Enero
PRENDIDO PLACA CALIENTE	14:40	HRS	Jueves 15 Enero
APAGADO PLACA CALIENTE	11:40	HRS	Viernes 16 Enero
TERMINO	14:20	HRS	Viernes 16 Enero

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

P	=	194.51	W
A	=	1.00	m²
L	=	0.1590	m

RESULTADOS

C	=	6.2386	W/(m²*K)
λ	=	0.9919	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque de Encementado

Numero de prueba: BHEC002

Fecha: del 18 al 19 Enero 2015

Duración 18 horas 30 minutos

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 00:10hrs y las 02:40hrs del Lunes 19 Enero.

Duración: 150min

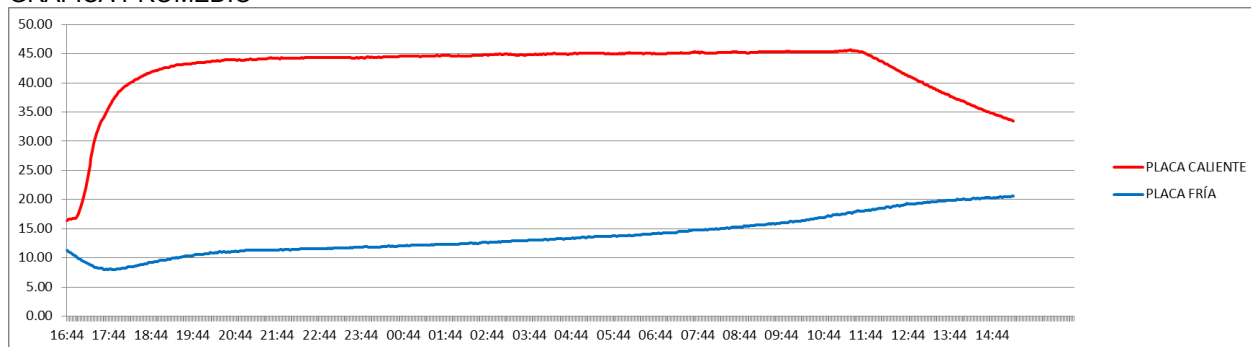
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Lunes/19/Enero/2015	01:44	44.71	12.30	°C
Lunes/19/Enero/2015	01:46	44.71	12.30	°C
Lunes/19/Enero/2015	01:48	44.71	12.27	°C
Lunes/19/Enero/2015	01:50	44.71	12.27	°C
Lunes/19/Enero/2015	01:52	44.63	12.27	°C
Lunes/19/Enero/2015	01:54	44.63	12.27	°C
Lunes/19/Enero/2015	01:56	44.63	12.27	°C
Lunes/19/Enero/2015	01:58	44.63	12.27	°C
Lunes/19/Enero/2015	02:00	44.63	12.27	°C
Lunes/19/Enero/2015	02:02	44.67	12.27	°C
PROMEDIOS		44.67	12.28	°C

Horas de prueba

INICIO	16:44	HRS	Domingo 18 Enero
PRENDIDO PLACA CALIENTE	16:50	HRS	Domingo 18 Enero
APAGADO PLACA CALIENTE	11:22	HRS	Lunes 19 Enero
TERMINO	15:14	HRS	Lunes 19 Enero

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

$$\begin{aligned} P &= 194.51 \text{ W} \\ A &= 1.00 \text{ m}^2 \\ L &= 0.1590 \text{ m} \end{aligned}$$

RESULTADOS

C	=	6.0052	W/(m²*K)
λ	=	0.9548	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque de Encementado

Numero de prueba: BHEC003

Fecha: del 20 al 21 Enero 2015

Duración 21 horas 40 minutos

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 06:30hrs y las 09:00hrs del Miércoles 21 Enero.

Duración: 150min

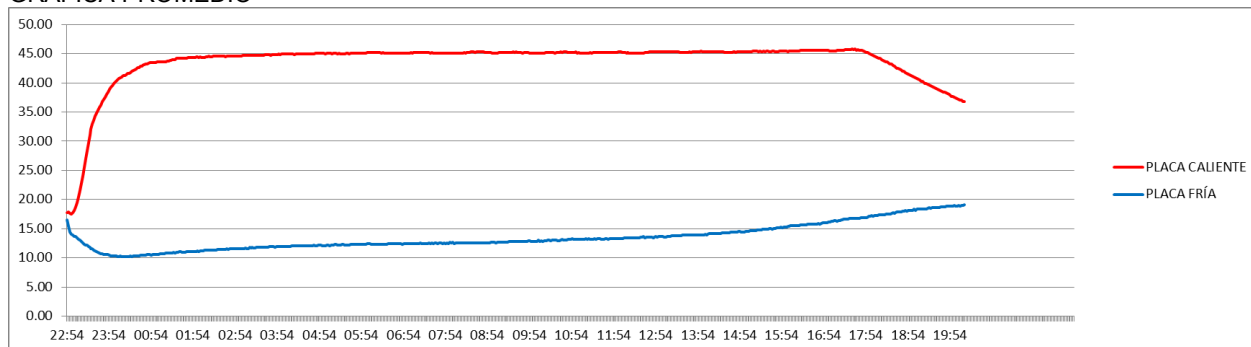
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Miércoles/21/Enero/2015	08:34	45.26	12.54	°C
Miércoles/21/Enero/2015	08:36	45.20	12.54	°C
Miércoles/21/Enero/2015	08:38	45.26	12.57	°C
Miércoles/21/Enero/2015	08:40	45.26	12.54	°C
Miércoles/21/Enero/2015	08:42	45.26	12.54	°C
Miércoles/21/Enero/2015	08:44	45.26	12.54	°C
Miércoles/21/Enero/2015	08:46	45.26	12.54	°C
Miércoles/21/Enero/2015	08:48	45.26	12.54	°C
Miércoles/21/Enero/2015	08:50	45.21	12.54	°C
Miércoles/21/Enero/2015	08:52	45.21	12.54	°C
PROMEDIOS		45.24	12.55	°C

Horas de prueba

INICIO	22:54	HRS	Martes 20 Enero
PRENDIDO PLACA CALIENTE	23:00	HRS	Martes 20 Enero
APAGADO PLACA CALIENTE	17:40	HRS	Miercoles 21 Enero
TERMINO	20:14	HRS	Miercoles 21 Enero

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

$$P = 194.51 \text{ W}$$

$$A = 1.00 \text{ m}^2$$

$$L = 0.1590 \text{ m}$$

RESULTADOS

C	=	5.9488	W/(m²*K)
λ	=	0.9459	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque de Encementado

Numero de prueba: BHEC004

Fecha: del 23 al 24 Enero 2015

Duración 18 horas 42 minutos

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 22:40hrs y las 01:30hrs del Viernes 23 Enero.

Duración: 170min

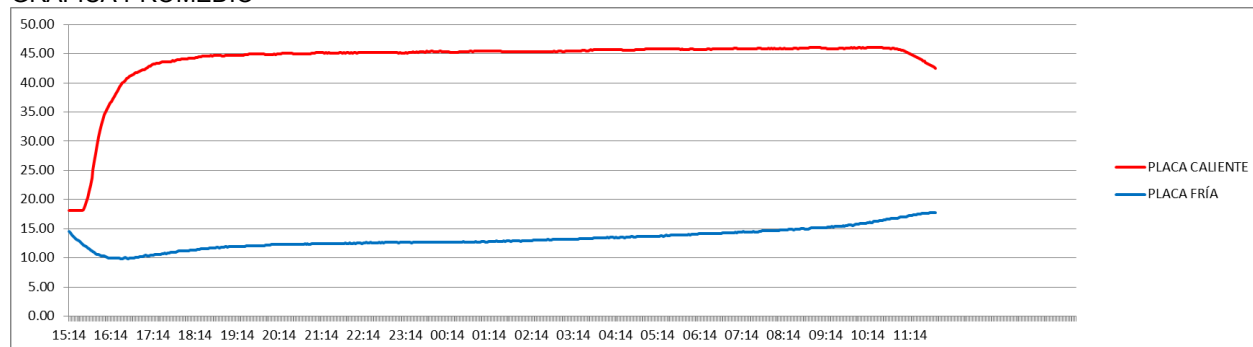
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Viernes/23/Enero/2015	23:42	45.24	12.64	°C
Viernes/23/Enero/2015	23:44	45.41	12.64	°C
Viernes/23/Enero/2015	23:46	45.30	12.64	°C
Viernes/23/Enero/2015	23:48	45.37	12.64	°C
Viernes/23/Enero/2015	23:50	45.44	12.64	°C
Viernes/23/Enero/2015	23:52	45.44	12.64	°C
Viernes/23/Enero/2015	23:54	45.34	12.64	°C
Viernes/23/Enero/2015	23:56	45.31	12.64	°C
Viernes/23/Enero/2015	23:58	45.37	12.61	°C
Viernes/23/Enero/2015	00:00	45.37	12.64	°C
	PROMEDIOS	45.36	12.64	°C

Horas de prueba

INICIO	17:08	HRS	Viernes 23 Enero
PRENDIDO PLACA CALIENTE	17:30	HRS	Viernes 23 Enero
APAGADO PLACA CALIENTE	10:50	HRS	Sabado 24 Enero
TERMINO	11:50	HRS	Sabado 24 Enero

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

P	=	194.51	W
A	=	1.00	m²
L	=	0.1590	m

RESULTADOS

C	=	5.9444	W/(m²*K)
λ	=	0.9452	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque de Encementado

Numero de prueba: BHEC005

Fecha: del 26 al 27 Enero 2015

Duración 22 horas

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 05:00hrs y las 07:20hrs del Martes 27 Enero.

Duración: 170min

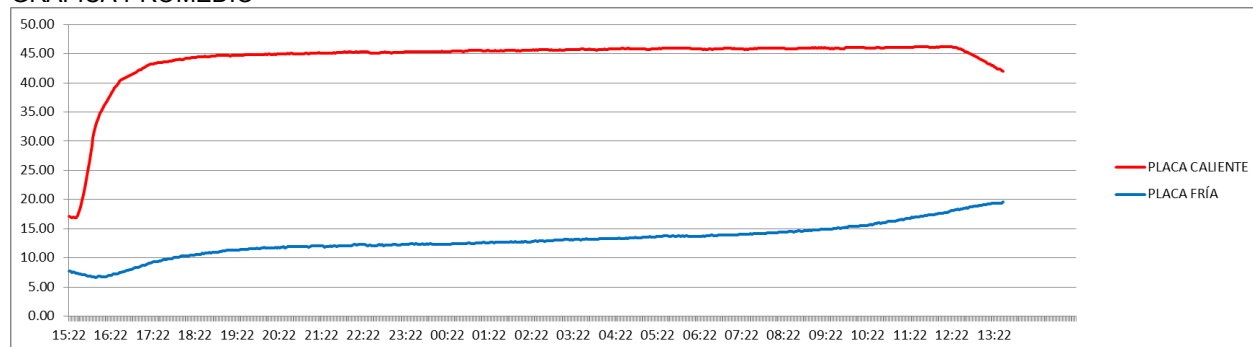
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Martes/27/Enero/2015	06:06	45.90	13.70	°C
Martes/27/Enero/2015	06:08	45.90	13.70	°C
Martes/27/Enero/2015	06:10	45.86	13.70	°C
Martes/27/Enero/2015	06:12	45.86	13.70	°C
Martes/27/Enero/2015	06:14	45.86	13.70	°C
Martes/27/Enero/2015	06:16	45.80	13.70	°C
Martes/27/Enero/2015	06:18	45.80	13.70	°C
Martes/27/Enero/2015	06:20	45.80	13.70	°C
Martes/27/Enero/2015	06:22	45.77	13.70	°C
Martes/27/Enero/2015	06:24	45.77	13.70	°C
PROMEDIOS		45.83	13.70	°C

Horas de prueba

INICIO	15:22	HRS	Lunes 26 Enero
PRENDIDO PLACA CALIENTE	15:30	HRS	Lunes 26 Enero
APAGADO PLACA CALIENTE	12:20	HRS	Martes 27 Enero
TERMINO	13:34	HRS	Martes 27 Enero

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

P	=	194.51	W
A	=	1.00	m²
L	=	0.1590	m

RESULTADOS

C	=	6.0536	W/(m²*K)
λ	=	0.9625	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque Embutido

Numero de prueba: BAEMBP001

Fecha: del 19 al 21 Febrero 2015

Duración 39 horas y 40 minutos

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 14:10hrs y las 17:20hrs del Viernes 20 de Febrero.

Duración: 130min

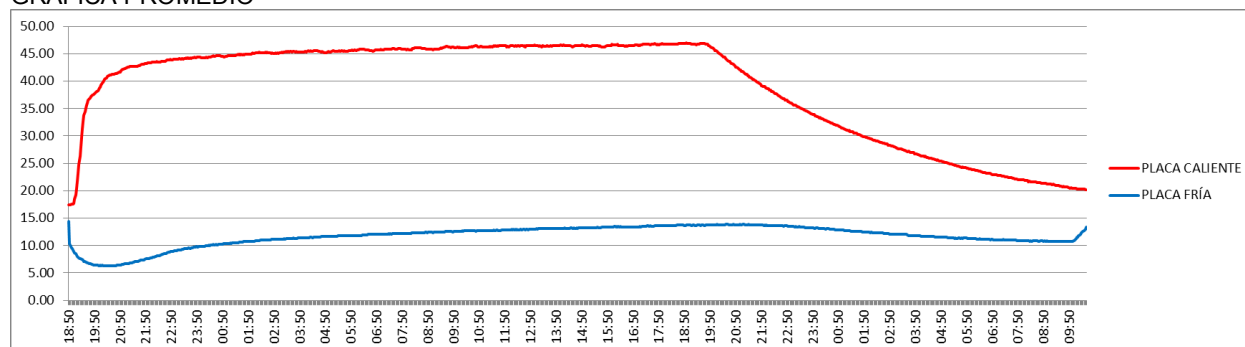
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Viernes/20/Febrero/2015	16:42	46.54	13.34	°C
Viernes/20/Febrero/2015	16:44	46.51	13.34	°C
Viernes/20/Febrero/2015	16:46	46.51	13.34	°C
Viernes/20/Febrero/2015	16:48	46.54	13.34	°C
Viernes/20/Febrero/2015	16:50	46.54	13.34	°C
Viernes/20/Febrero/2015	16:52	46.51	13.34	°C
Viernes/20/Febrero/2015	16:54	46.60	13.34	°C
Viernes/20/Febrero/2015	16:56	46.60	13.34	°C
Viernes/20/Febrero/2015	16:58	46.60	13.34	°C
Viernes/20/Febrero/2015	17:00	46.60	13.34	°C
PROMEDIOS		46.56	13.34	°C

Horas de prueba

INICIO	18:50	HRS	Jueves 19 Febrero
PRENDIDO PLACA CALIENTE	19:00	HRS	Jueves 19 Febrero
APAGADO PLACA CALIENTE	19:00	HRS	Viernes 20 Febrero
TERMINO	10:30	HRS	Sábado 21 Febrero

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

P	=	194.51	W
A	=	1.00	m²
L	=	0.1560	m

RESULTADOS

C	=	5.8562	W/(m²*K)
λ	=	0.9136	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque Embutido

Numero de prueba: BAEMBP002

Fecha: del 23 al 24 Febrero 2015

Duración 24 horas y 10 minutos

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 8:10hrs y las 10:40hrs del martes 24 de Febrero.

Duración: 150min

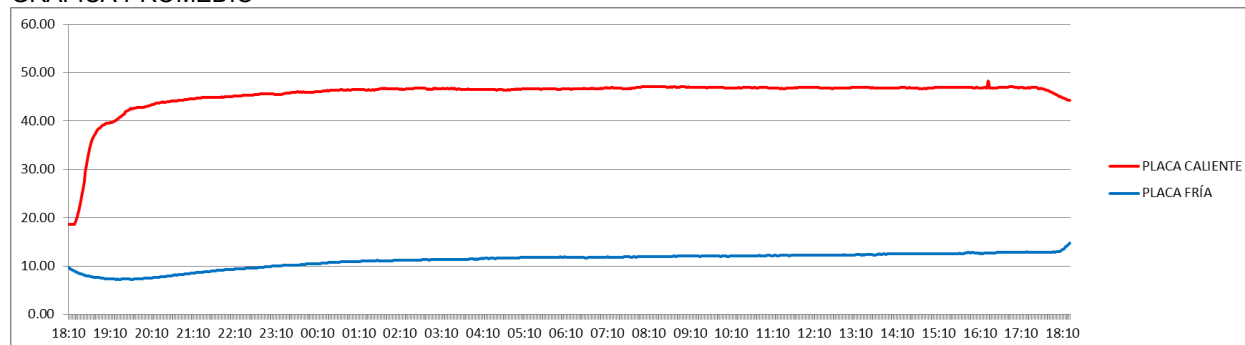
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Martes/24/Febrero/2015	10:08	46.86	12.09	°C
Martes/24/Febrero/2015	10:10	46.86	12.09	°C
Martes/24/Febrero/2015	10:12	46.81	12.09	°C
Martes/24/Febrero/2015	10:14	46.89	12.09	°C
Martes/24/Febrero/2015	10:16	46.89	12.09	°C
Martes/24/Febrero/2015	10:18	46.89	12.09	°C
Martes/24/Febrero/2015	10:20	46.91	12.09	°C
Martes/24/Febrero/2015	10:22	46.89	12.09	°C
Martes/24/Febrero/2015	10:24	46.89	12.06	°C
Martes/24/Febrero/2015	10:26	46.97	12.09	°C
PROMEDIOS		46.88	12.08	°C

Horas de prueba

INICIO	18:10	HRS	Lunes 23 Febrero
PRENDIDO PLACA CALIENTE	18:18	HRS	Lunes 23 Febrero
APAGADO PLACA CALIENTE	17:10	HRS	Martes 24 Febrero
TERMINO	18:20	HRS	Martes 24 Febrero

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

P	=	194.51	W
A	=	1.00	m²
L	=	0.1560	m

RESULTADOS

C	=	5.5891	W/(m²*K)
λ	=	0.8719	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque Embutido

Numero de prueba: BAEMBP003

Fecha: del 27 al 28 Febrero 2015

Duración 24 horas y 24 minutos

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 3:40hrs y las 6:30hrs del sábado 28 de Febrero.

Duración: 170min

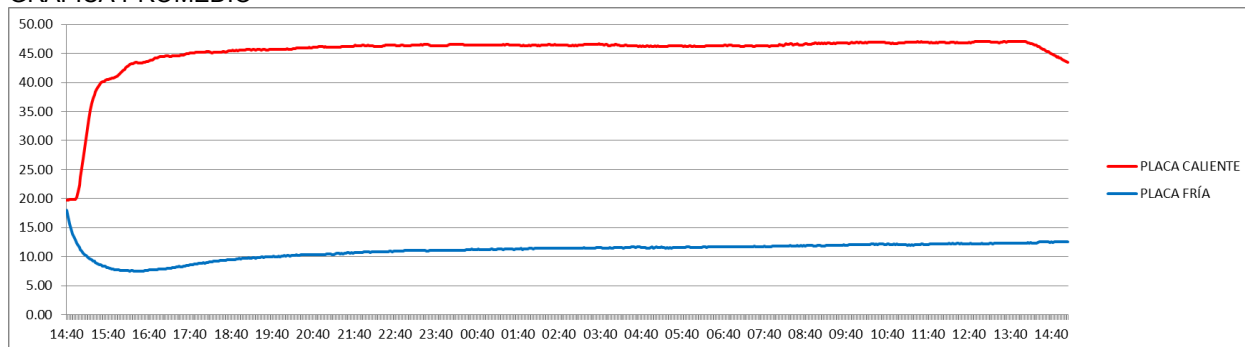
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Sábado/28/Febrero/2015	04:22	46.36	11.60	°C
Sábado/28/Febrero/2015	04:24	46.31	11.60	°C
Sábado/28/Febrero/2015	04:26	46.31	11.63	°C
Sábado/28/Febrero/2015	04:28	46.27	11.63	°C
Sábado/28/Febrero/2015	04:30	46.27	11.63	°C
Sábado/28/Febrero/2015	04:32	46.27	11.60	°C
Sábado/28/Febrero/2015	04:34	46.27	11.63	°C
Sábado/28/Febrero/2015	04:36	46.24	11.63	°C
Sábado/28/Febrero/2015	04:38	46.27	11.63	°C
Sábado/28/Febrero/2015	04:40	46.24	11.60	°C
	PROMEDIOS	46.28	11.62	°C

Horas de prueba

INICIO	14:40	Viernes 27 Febrero
PRENDIDO PLACA CALIENTE	14:50	Viernes 27 Febrero
APAGADO PLACA CALIENTE	14:04	Sabado 28 Febrero
TERMINO	15:04	Sabado 28 Febrero

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

$$P = 194.51 \text{ W}$$

$$A = 1.00 \text{ m}^2$$

$$L = 0.1560 \text{ m}$$

RESULTADOS

C	=	5.6110	W/(m²*K)
λ	=	0.8753	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque Embutido

Numero de prueba: BAEMBP004

Fecha: del 3 al 4 Marzo 2015

Duración 24 horas y 10 minutos

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 10:00hrs y las 12:00hrs del miércoles 4 Marzo.

Duración: 120min

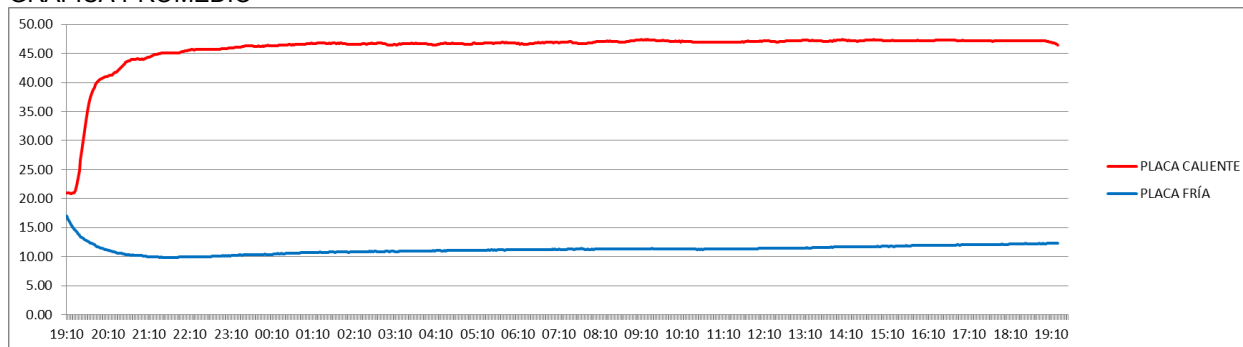
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Miércoles/04/Marzo/2015	11:24	46.93	11.33	°C
Miércoles/04/Marzo/2015	11:26	46.90	11.33	°C
Miércoles/04/Marzo/2015	11:28	46.93	11.33	°C
Miércoles/04/Marzo/2015	11:30	46.93	11.33	°C
Miércoles/04/Marzo/2015	11:32	46.93	11.33	°C
Miércoles/04/Marzo/2015	11:34	46.90	11.33	°C
Miércoles/04/Marzo/2015	11:36	46.93	11.33	°C
Miércoles/04/Marzo/2015	11:38	47.00	11.33	°C
Miércoles/04/Marzo/2015	11:40	46.96	11.33	°C
Miércoles/04/Marzo/2015	11:42	47.04	11.33	°C
PROMEDIOS		46.94	11.33	°C

Horas de prueba

INICIO	19:10	HRS	Martes 3 Marzo
PRENDIDO PLACA CALIENTE	19:20	HRS	Martes 3 Marzo
APAGADO PLACA CALIENTE	19:02	HRS	Miércoles 4 Marzo
TERMINO	19:20	HRS	Miércoles 4 Marzo

GRAFICA PROMEDIO



CÁLCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

P	=	194.51	W
A	=	1.00	m²
L	=	0.1560	m

RESULTADOS

C	=	5.4614	W/(m²*K)
λ	=	0.8520	W/(m*K)

DATOS DE PRUEBA

Muestra a evaluar: Panel bambú sistema Bahareque Embutido

Numero de prueba: BAEMBP005

Fecha: del 12 al 13 Marzo 2015

Duración 30 horas y 30 minutos

MEDICIONES

Intervalo de medición @ 2 minutos

Estado permanente entre las 5:30hrs y las 8:00hrs del viernes 13 Marzo.

Duración: 150min

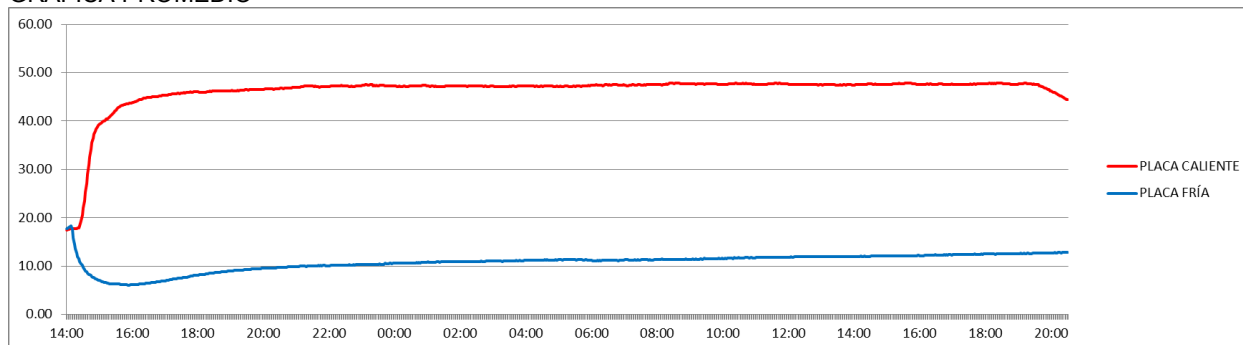
Tabla con 10 valores estables continuos.

FECHA	HORA	TEMPERATURA EN CARAS		
		CALIENTE	FRÍA	
Viernes/13/Marzo/2015	06:24	47.50	11.14	°C
Viernes/13/Marzo/2015	06:26	47.59	11.14	°C
Viernes/13/Marzo/2015	06:28	47.50	11.14	°C
Viernes/13/Marzo/2015	06:30	47.40	11.14	°C
Viernes/13/Marzo/2015	06:32	47.50	11.14	°C
Viernes/13/Marzo/2015	06:34	47.40	11.14	°C
Viernes/13/Marzo/2015	06:36	47.40	11.14	°C
Viernes/13/Marzo/2015	06:38	47.59	11.14	°C
Viernes/13/Marzo/2015	06:40	47.59	11.17	°C
Viernes/13/Marzo/2015	06:42	47.50	11.14	°C
PROMEDIOS		47.50	11.15	°C

Horas de prueba

INICIO	14:00	HRS	Jueves 12 Marzo
PRENDIDO PLACA CALIENTE	14:20	HRS	Jueves 12 Marzo
APAGADO PLACA CALIENTE	19:30	HRS	Viernes 13 Marzo
TERMINO	20:30	HRS	Viernes 13 Marzo

GRAFICA PROMEDIO



CALCULOS

Fórmulas empleadas

$$C = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = P \cdot \left(\frac{L}{A \cdot \Delta T} \right)$$

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
λ	= conductividad térmica	W/(m*K)
C	= conductancia térmica	W/(m²*K)
P	= potencia de la resistencia	W
A	= area de medición	m²
L	= separacion entre placas	m
ΔT	= diferencial de temperatura	K

$$\begin{aligned} P &= 194.51 \text{ W} \\ A &= 1.00 \text{ m}^2 \\ L &= 0.1560 \text{ m} \end{aligned}$$

RESULTADOS

C	=	5.3510	W/(m²*K)
λ	=	0.8348	W/(m*K)

Anexo III. Glosario de términos.

Absortividad. Medida de la cantidad de luz absorbida por una disolución, definida como la unidad de absorbancia por unidad de concentración por unidad de longitud de la trayectoria de luz. De acuerdo con la Ley de Beer-Lambert, la absortividad es proporcional a la conductividad del soluto absorbente.

Bahareque. Denominación de un sistema de construcción de viviendas a partir de palos o cañas entretejidas y barro. Esta técnica ha sido utilizada desde épocas remotas para la construcción de vivienda en pueblos indígenas de América.

Calibración. Proceso de comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia (o estándar).

Capacidad térmica. Cociente entre la cantidad de energía calorífica transferida a un cuerpo o sistema en un proceso cualquiera y el cambio de temperatura que experimenta. En una forma más rigurosa, es la energía necesaria para aumentar la temperatura de una determinada sustancia en una unidad de temperatura.

Coefficiente de convección superficial. Cuantifica la influencia de las propiedades del fluido, de la superficie y del flujo cuando se produce transferencia de calor por convección. La transferencia de calor por convección se modela con la Ley del enfriamiento de Newton.

Conductancia térmica. Es una medida de transferencia de calor a través de los materiales, formados por una o varias capas, y en condiciones de laboratorio. En este caso se mide la cantidad de calor transferido a través del material en un tiempo y superficie unitarios, para un espesor especificado (no necesariamente unitario).

Conductividad térmica. Es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. En otras palabras la conductividad térmica es también la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras adyacentes o a sustancias con las que está en contacto. En el Sistema Internacional de Unidades la conductividad térmica se mide en $W/(K \cdot m)$ (equivalente a $J/(m \cdot s \cdot K)$)

Difusividad térmica. Es un índice que expresa la velocidad de cambio, y flujo de temperaturas, en un material hasta que alcanza el equilibrio térmico. Es por esta razón que un material A, con difusividad térmica mayor que otro B, alcance el equilibrio en menor tiempo. La difusividad

térmica es igualmente un parámetro para averiguar la capacidad que tiene un material para difuminar la temperatura en su interior.

Emisividad. Llamada antiguamente emitancia, es la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debida a su temperatura. La emisividad direccional espectral se define como la razón entre la intensidad emitida por la superficie en una dirección particular y la intensidad que sería emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura y longitud de onda.

Entramado. Se llama entramado a un armazón de maderos que forma el cuerpo perpendicular, sosteniente de una pared o tabique. Se compone de soleras, pies derechos, tornapuntas o aspas, puentes y carreras. Los entramados se distinguen por el grueso de los anchos de sus carreras, en entramado de terciá, vigueta o sexma, madero de a seis, etc.

Epóxico. Una resina epoxi o poliepóxido es un polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o «endurecedor»

Gramínea. Son una familia de plantas herbáceas, o muy raramente leñosas, perteneciente al orden Poales de las monocotiledóneas. Entre las especies más destacadas están la caña de azúcar, el trigo, el arroz, el maíz, el sorgo, la cebada, la avena, el centeno y el bambú.

Higroscópico. Es la capacidad de algunas sustancias de absorber humedad del medio circundante.

Confort Higrotérmico. Puede definirse como la ausencia de malestar térmico. En fisiología se dice que hay confort higrotérmico cuando no tienen que intervenir los mecanismos termorreguladores del cuerpo para una actividad sedentaria y con una indumentaria ligera. Esta situación puede registrarse mediante índices que no deben ser sobrepasados para que no se pongan en funcionamiento los sistemas termorreguladores (metabolismo, sudoración y otros).

Isotérmico. Se denomina proceso isotérmico o proceso isotermo al cambio reversible en un sistema termodinámico, siendo dicho cambio a temperatura constante en todo el sistema.

Isotrópico. Es la característica de algunos cuerpos cuyas propiedades físicas no dependen de la dirección en que son examinadas. Es decir, se refiere al hecho de que ciertas magnitudes vectoriales conmensurables dan resultados idénticos independientemente de la dirección escogida para dicha medida.

Porosidad. Es una medida de espacios vacíos en un material, y es una fracción del volumen de huecos sobre el volumen total, entre 0-1, o como un porcentaje entre 0-100%. El término se

utiliza en varios campos, incluyendo farmacia, cerámica, metalurgia, materiales, fabricación, ciencias de la tierra, mecánica de suelos e ingeniería.

Reflectividad. En fotometría y en transferencia de calor, la reflectividad es la fracción de radiación incidente reflejada por una superficie. En general debe tratársela como una propiedad direccional, en función de la dirección reflejada, de la dirección incidente, y de la longitud de onda incidente.

Resistencia térmica. La resistencia térmica de un material representa la capacidad del material de oponerse al flujo del calor. En el caso de materiales homogéneos es la razón entre el espesor y la conductividad térmica del material; en materiales no homogéneos la resistencia es el inverso de la conductancia térmica.

Termografía. Es una técnica que permite calcular y determinar temperaturas a distancia, con exactitud y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. La termografía permite captar la radiación infrarroja del espectro electromagnético, utilizando cámaras termográficas o de termovisión. Conociendo los datos de las condiciones del entorno (humedad y temperatura del aire, distancia a objeto termografiado, temperatura reflejada, radiación incidente,...) y de las características de las superficies termografiadas como la emisividad se puede convertir la energía radiada detectada por la cámara termográfica en valores de temperaturas.

Termopar. También llamado termocople, es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce una diferencia de potencial muy pequeña (del orden de los milivoltios) que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado «punto caliente» o «unión caliente» o de «medida» y el otro llamado «punto frío» o «unión fría» o de «referencia» (efecto Seebeck). Normalmente los termopares industriales están compuestos por un tubo de acero inoxidable u otro material. En un extremo del tubo está la unión, y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegido dentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).

Transductor. Dispositivo capaz de transformar o convertir una determinada manifestación de energía de entrada, en otra diferente a la salida, pero de valor muy pequeños en términos relativos con respecto a un generador.

Transmitancia térmica. Es la medida del calor que fluye por unidad de tiempo y superficie, transferido a través de un sistema constructivo, formado por una o más capas de material, de caras plano paralelas, cuando hay un gradiente térmico de 1°C (1 K) de temperatura entre los dos ambientes que éste separa.

Anexo IV. Curriculum Vitae. Arq. Guillermo Terrés Martínez

EDUCACIÓN.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO (ITQ)

Carrera: Arquitectura, Especialidad Diseño Arquitectónico. 2003 - 2008

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA Ciudad de México. Junio 2010

Taller "Biomimicry 2010"

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO.

Diplomado: Arquitectura Bioclimática y Sustentable. Agosto 2011 – Enero 2012

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA.

Especialidad en Diseño, Línea Arquitectura Bioclimática. Agosto 2012 – Agosto 2013

Maestría en Arquitectura Bioclimática. Agosto 2013 – Abril 2015

HABILIDADES PROFESIONALES.

Idiomas: Inglés (88 puntos examen TOEFL IBT); Japonés (3 años Universidad Autónoma de Querétaro).

Computación: AutoCAD (2D y 3D), Architectural Desktop (3D), 3DStudio MAX (Modelado Básico y renderizado con mental ray), Adobe Photoshop.

EXPERIENCIA PROFESIONAL

EMPRESA: TERRES CONSTRUCTORES. (2005 a la fecha)

Puesto: Proyectista, Dibujante y Residente de Obra.

EMPRESA: Construcciones Hidráulicas y Civiles del Centro. (2009)

Puesto: Residente de Obra.

EMPRESA: MIX Construcciones S.A. de C.V. (2011)

Puesto: Residente de Obra.

PROYECTOS BIOCLIMÁTICOS.

"Casa Habitación/ Taller Mecánico El Tintero" Querétaro, Qro.

Proyecto: Diseño de un inmueble mixto habitacional/comercial con áreas independientes en un terreno de 154m2 con 230m2 construcción y un área de techo verde en planta alta.

Fecha: Abril 2011

"Biblioteca / Centro de Computo UAQ Cadereyta" Universidad Autónoma de Querétaro Campus Cadereyta, Cadereyta de Montes, Qro.

Proyecto: Diseño de un edificio dual Biblioteca – Centro de Computo para la sede UAQ Cadereyta, utilizando trazas sustentables y bioclimáticas para la solución del edificio.

Fecha: Marzo 2012.